

DE L'INSTITUT TECHNIQUE

DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

JUILLET-AOÛT 1956

Neuvième année, N^{os} 103-104

SOMMAIRE

	Pages
P. VIDAL, La pompe à chaleur. Principe, rendement, installations, caractéristiques et utilisation	629
Série : Équipement technique (54).	
J. PLICHON, Application des méthodes géophysiques aux travaux de génie civil	651
Série : Questions générales (29).	
J.-P. HELME, L'huile de lin dans le bâtiment	671
M. FAUVE, Les huiles siccatives usuelles et le jaunissement des films de peinture	677
Série : Aménagement intérieur (10).	
J. CAMPREDON, Recherches et travaux du Centre Technique du Bois	683
A. PASCAL, Perméabilité à l'air des menuiseries dans les locaux habités. Exposé d'une méthode pour étudier son influence sur le chauffage.	693
Série : Essais et mesures (37).	
G. DREYFUS, L'aménagement du carrefour Pompadour à Créteil	699
Série : Travaux publics (38).	
J. BROCARD, Les divers procédés d'accélération de la prise et du durcissement des bétons applicables à la préfabrication	709
Série : Béton. Béton armé (38).	
Documentation technique réunie en avril 1956	729
Documentation technique (96).	

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE

6, RUE PAUL-VALÉRY, PARIS (XVI^e)

LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS

12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS

4, 6, RUE DU COLONEL DRIANT, PARIS (1^{er})

CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT

100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI^e)

Édité par **La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.**

(Société à responsabilité limitée au capital de 3 000 000 F)

C. C. P. PARIS 8524-12

6, rue Paul-Valéry, PARIS-XVI^e

Tél. : KLÉber 48-20

Une des principales missions de L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

consiste à mettre à la disposition de toute personne intéressée par les problèmes de la construction, une vaste documentation fournie par :

Le service de documentation de l'Institut Technique

qui analyse plus de 400 périodiques techniques dont plus de la moitié viennent de l'étranger;

*Les Laboratoires du Bâtiment
et des Travaux Publics;*

*Des techniciens français et étrangers
de la profession.*

Soit au cours de conférences ou de visites de chantier
organisées par le *Centre d'Études Supérieures*.

Soit dans des exposés traitant de questions ou de
réalisations diverses.

A cet effet, l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics dirige la rédaction ou rédige :

1^o Des ouvrages divers parmi lesquels il faut citer : les **Règles d'utilisation** de certains matériaux (béton armé, acier, etc.), des **Règles** ayant trait à des problèmes particuliers (par exemple : les effets de la neige et du vent sur les constructions). L'application de certaines de ces règles a été rendue **obligatoire** par le **MINISTÈRE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME** pour les travaux relevant de son autorité.

(La liste des publications et les conditions d'envoi sont adressées sur demande formulée à la *Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, 6, rue Paul-Valéry, Paris-XVI^e - Tél. Kléber 48-20.)

2^o Les **ANNALES** qui publient :

Les conférences et comptes rendus de visites de chantiers organisées par le **Centre d'Études Supérieures**;
Des études originales françaises et étrangères;

Les **Manuels** du béton armé, de la charpente en bois et de la construction métallique;

Les comptes rendus de recherches d'intérêt général poursuivies par les **Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics**;

Une documentation technique.

Chaque sujet est classé dans les séries suivantes :

Architecture et Urbanisme.
Technique générale de la construction.
Théories et Méthodes de calcul.
(Résistance des matériaux.)
Essais et Mesures.
Sols et fondations.
Gros œuvre.
(Maçonnerie, travail du bois.)
Construction métallique.

Travaux Publics.
Matériaux.
(Pierres et Minéraux. Géologie.)
Liants hydrauliques.
Béton. Béton armé.
Béton précontraint.
Équipement technique.
(Électricité, chauffage et ventilation,
froid, acoustique, plomberie, couver-
ture, étanchéité.)

Aménagement intérieur.
Matériel de chantier.
Questions générales.
(Questions économiques, hygiène, sécurité.)
Documentation technique.
Manuel du Béton armé.
Manuel de la Charpente en bois.
Manuel de la Construction Métallique.
Variétés, actualités, informations.

Les numéros des mois de juillet et août étant groupés,
nous informons nos lecteurs que la prochaine parution
des **ANNALES** n'aura lieu que le 15 septembre.

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1956

Neuvième Année, Nos 103-104

Série : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (54).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 29 NOVEMBRE 1955

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE

M. Gaston GOURDEAU,

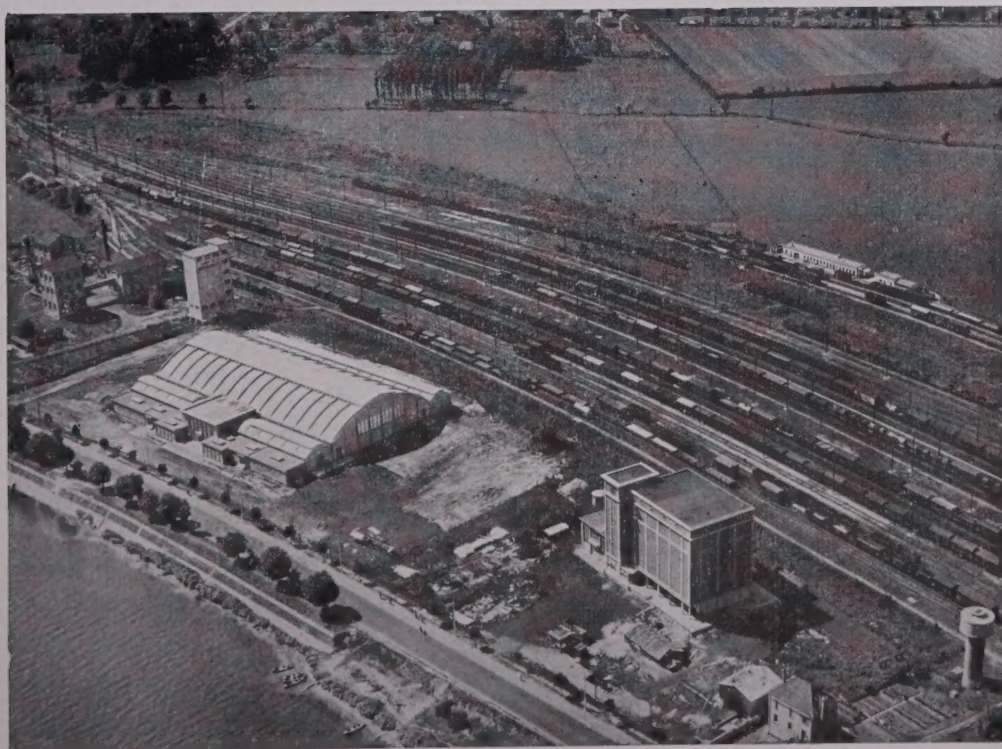
Ingénieur A. M. et E. S. E.

Président Directeur général de la Compagnie générale Française
de chauffage urbain**LA POMPE A CHALEUR****Principe, rendement, installations, caractéristiques et utilisation**

par

M. P. VIDAL,

Ingénieur E. P. C. I.



(Photo aérienne Y. Cuyt, Lyon.)

Vue des Usines Gardy. — E. F. L.

PRÉSENTATION DU PRÉSIDENT

Je suis chargé de vous présenter le jeune conférencier qui va vous entretenir du problème de la pompe à chaleur. Je me suis demandé, lorsque M. Vidal m'a fait l'honneur de me solliciter pour présider cette séance, quel titre invoquer pour parler devant vous. J'en ai peut-être un, comme tous les jeunes gens de mon âge — et je suis heureux de voir ici mon vieil ami, M. Parodi, Membre de l'Institut — c'est d'avoir des souvenirs sur la pompe à chaleur.

J'ai, en effet, vu la pompe à chaleur fonctionner, il y a quelque trente ans, au Polytechnicum de Zurich, puis quelques années plus tard dans un ensemble qui avait été conçu par un jeune Français, M. Henri Lebre. Ce jeune ingénieur a été un des pionniers de la pompe à chaleur, je tiens à le dire, et sa mort prématurée a été une véritable perte. L'application qu'il avait mise au point était prévue pour les voitures de chemins de fer destinées aux Indes néerlandaises et j'ai vu, par une température extérieure de l'ordre de 35 à 40°, la température du wagon rester immuable à 16°. J'en ai gardé le souvenir mais je ne me doutais pas qu'un jour je serais amené à présider une réunion au cours de laquelle serait traité un exemple beaucoup plus important.

M. Vidal est un jeune ingénieur qui est sorti de l'École de Physique et Chimie, laquelle, comme vous le savez, a produit un grand nombre de savants et de techniciens de premier ordre. M. Vidal est dans leur lignée. Il s'est consacré au problème du froid et au problème de la pompe à chaleur et il les connaît parfaitement bien.

EXPOSÉ DE M. VIDAL

Directeur général des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais.

A la suite de la mise en exploitation d'une pompe à chaleur à Chalon-sur-Saône par la Société Française d'Appareillage Electrique Gardy, et la Société des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais, l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics a pensé que cette réalisation serait susceptible d'intéresser une partie de ses adhérents. Une visite des installations, à laquelle certains d'entre vous ont participé, a eu lieu le 24 novembre. Pour des raisons d'organisation, cette visite a été placée avant la présente conférence.

Nous ne vous entretiendrons pas de la théorie des pompes à chaleur. La majorité d'entre vous la connaît, et je ne voudrais pas vous infliger un cours de thermodynamique. Je vous rappellerai très succinctement ce qu'est une pompe à chaleur.

forme la chaleur fournie par un combustible en énergie mécanique. Schématiquement, une pompe à chaleur est un système fermé comprenant un évaporateur, un compresseur, un condenseur et un fluide évoluant en circuit fermé.

Examinons un tel système (fig. 1) : le compresseur C aspire dans l'évaporateur E des vapeurs. Le compresseur refoule ces vapeurs dans le condenseur K où elles se condensent. Cette condensation est faite en abandonnant la chaleur latente de vaporisation des vapeurs. Cette chaleur latente de vaporisation est transmise au milieu à chauffer, soit directement, soit indirectement par un fluide intermédiaire. Le liquide provenant de la condensation des vapeurs est renvoyé à l'évaporateur en passant par un appareil réduisant sa pression. Le liquide s'évapore à nouveau dans l'évaporateur en empruntant de la chaleur au milieu qui l'entoure.

Si le système est utilisé en machine frigorifique, on exploite l'évaporateur. Si le système est utilisé en pompe à chaleur on exploite le condenseur. On peut exploiter simultanément le condenseur et l'évaporateur.

Suivant le principe de Carnot, le rendement théorique d'une pompe à chaleur est égal à :

$$R = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

DÉFINITION DE LA POMPE A CHALEUR — RENDEMENT

La pompe à chaleur, ou pompe thermo-dynamique, ou thermo-pompe, qu'il s'agisse d'une machine frigorifique ou d'une machine calorifique, est une installation consommant de l'énergie mécanique pour soutirer de la chaleur à un milieu à basse température et la restituer à un milieu dont la température est plus élevée. C'est l'inverse d'un moteur thermique plus connu qui trans-

RÉSUMÉ

Après un rappel du principe de la pompe à chaleur et de son rendement, des fluides frigorifiques et des conditions à demander aux sources froides, l'auteur examine les difficultés économiques et financières relatives au développement des pompes à chaleur, puis, il indique les questions à étudier pour une installation. Il étudie ensuite en détail la pompe à chaleur montée à l'usine Gardy de Chalon-sur-Saône en utilisant l'installation frigorifique d'un entrepôt voisin de la Société des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais.

Enfin, il traite du développement et de l'exploitation actuels des pompes à chaleur dans les différents pays ainsi que de l'avenir du procédé.

SUMMARY

After discussing the principle of the heat pump, its output, the refrigerating fluids and the conditions to be imposed at the sources of cold, the author examines the economic and financial difficulties relative to the development of heat pumps. Questions to be studied for an installation are then indicated. A detailed study is then made of the heat pump installed in the Gardy factory at Chalon-sur-Saône, where the refrigerating plant of a neighbouring depot of the Société des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais was utilised.

Finally, there is a discussion on the present state of exploitation and development of heat pumps in different countries and on future prospects of this technique.

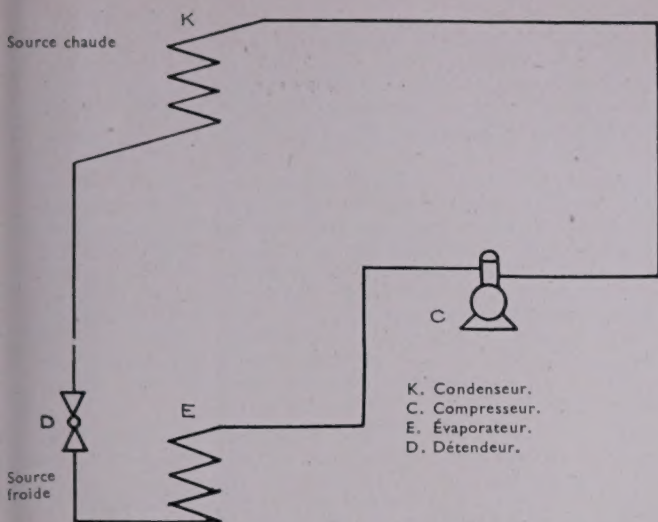


FIG. 1. — Schéma de principe d'une pompe à chaleur.

où T_1 est la température absolue de la source chaude et T_2 , la température absolue de la source froide.

Le rendement pratique est : $Q/860 P$.

Q est la quantité de chaleur fournie en kcal/h.

P est la puissance en kW.

Nous avons des rendements théoriques dont la valeur est supérieure à l'unité, ce qui choque l'esprit. Aussi, dans le cas des pompes à chaleur, ce rendement est appelé coefficient d'efficacité, coefficient de performance, coefficient de multiplication, etc... Pour notre part, nous souhaiterions appeler coefficient d'efficacité le rendement théorique. Quant au rendement pratique, nous souhaiterions l'appeler coefficient de performance. Ceci éviterait toute confusion. Si vous le voulez bien nous userons de ces définitions dans notre exposé.

La machine n'étant pas parfaite, le rendement global, rapport entre le coefficient de performance et le coefficient d'efficacité varie avec le rendement des moteurs électriques et des compresseurs, la différence des températures, l'importance des installations, des conditions d'utilisation, du fluide employé, etc...

Différents auteurs ont donné comme rendements :

Pour 200 000 à 1 000 000 cal/h.....	0,45 à 0,55
— 1 000 000 à 3 000 000 cal/h.....	0,55 à 0,60
— des installations plus importantes..	0,60 à 0,65

A Chalon-sur-Saône, avec des compresseurs à ammoniac, le rendement est voisin de 0,55 pour la gamme de 200 000 à 500 000 cal/h.

Quant au coefficient de performance, il peut varier de 2,5 à 25. Voici un tableau assez couramment diffusé vous donnant un aperçu de ces coefficients sous toutes réserves :

1. Chauffage des locaux par rayonnement par plancher ou plafond : 3,5 à 6.
2. Chauffage de locaux avec radiateurs à 70-90°C, l'eau revenant à la pompe à chaleur aux environs de 60° : 2 à 2,5

3. Piscine avec eau à 40°C : en hiver : 4 à 6
en été : 6 à 8.

4. Installations d'évaporateur avec turbo-compresseurs :

- a) liquide s'évaporant difficilement : 5 à 10
- b) liquide s'évaporant facilement : 11 à 25

A Chalon-sur-Saône, le coefficient de performance varie de 4 à 7.

FLUIDES FRIGORIGÈNES — Nous nous étendrons très peu sur ce point. Théoriquement, la nature du fluide n'intervient pas; pratiquement, elle intervient surtout de par ses caractéristiques physiques. Beaucoup de fluides ont été utilisés, actuellement on s'oriente vers l'emploi des fréons (F 11 et F 12) et de l'ammoniac.

Leur choix est principalement déterminé par le niveau de température désiré à la source chaude. Le F 12 et l'ammoniac permettent d'obtenir les mêmes températures; toutefois, le premier conduit à des machines beaucoup plus volumineuses, donc plus chères, à égalité de puissance car son effet calorifique par kilogramme de fluide est six à sept fois plus faible que celui de l'ammoniac. Il est, par contre, inodore et non toxique.

Le F 11 paraît très bien convenir comme l'ammoniac, dans les turbo compresseurs de grosse puissance. Il permet d'obtenir des températures dépassant 60°C, pouvant aller à 75°C pour l'eau chaude sortant du condenseur, la pression de liquéfaction étant inférieure à 5 kg/cm².

SOURCES FROIDES

Un des problèmes qui se pose techniquement / t financièrement dans l'avant-projet d'étude de l'installation d'une pompe à chaleur est celui de la source froide dont on peut disposer.

Comme nous l'avons dit, la limite supérieure du facteur d'efficacité est donnée par la relation de Carnot :

$$\frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

T_1 étant la température de la source chaude,

T_2 étant celle de la source froide.

Cette relation nous montre que ce facteur est d'autant plus élevé que la différence $T_1 - T_2$ est plus faible.

La pompe à chaleur doit pouvoir disposer d'une source froide de température T_2 aussi élevée que possible.

T_1 , en général, est fixé par les conditions d'exploitation, c'est-à-dire le potentiel des calories que nous désirons obtenir pour l'usage prévu (chauffage, concentration de liquides, etc...). La source froide choisie devra avoir une température se rapprochant le plus possible de cette température T_1 .

La demande de calories à la pompe à chaleur est fonction des besoins d'utilisation. La capacité de la source froide doit être suffisante dans le temps et sa température doit, dans toute la mesure du possible, ne pas diminuer dans de fortes proportions. Sa capacité horaire doit être suffisante, cette capacité horaire étant déterminée par le calcul économique de l'installation.

En résumé, une pompe à chaleur doit disposer d'une source de chaleur très bon marché sinon gratuite, d'une capacité suffisante et ayant une température aussi élevée que possible.

Quelles sont les sources froides pouvant être utilisées dans l'exploitation d'une pompe à chaleur?

Elles sont multiples et aucune source a priori ne peut être conseillée plutôt qu'une autre. Dans chaque cas, il faut étudier les avantages et les inconvénients techniques et financiers. En cas de pluralité de sources disponibles, il convient de préférer les sources froides, à température sensiblement constante et à capacité presque illimitée. Pour le problème envisagé nous distinguerons deux catégories de sources :

a) Les sources à température constante : les eaux souterraines, les eaux et les gaz usés, le sol.

b) Les sources à température variable : les eaux superficielles (eaux des lacs, des rivières, des fleuves...), l'air extérieur, le soleil, les mers.

Les sources à température constante permettent d'avoir un coefficient d'efficacité sensiblement constant et dont la valeur moyenne sera grande si la température de la source froide est suffisamment élevée. De telles sources permettront une exploitation plus rationnelle, plus régulière, donc d'un meilleur rendement économique.

Les sources à température variable ont une température fonction des conditions climatiques. Leurs températures, en général, sont les plus froides l'hiver quand les besoins en chaleur sont les plus grands. De ce fait, au moment des plus fortes demandes, leur capacité diminue et le coefficient d'efficacité devient très faible. Pour une demande calorifique déterminée elles nécessitent des investissements beaucoup plus importants et des coûts d'exploitation nettement plus élevés que des sources à température constante. Examinons successivement ces différentes sources froides.

Les eaux souterraines.

A partir d'une certaine profondeur, les eaux sont à température constante. Les eaux de puits ou de source sont très intéressantes comme sources froides de pompe à chaleur. Elles sont encore plus intéressantes lorsqu'elles sont chaudes. L'utilisation de telles eaux peut être rendue onéreuse par le coût du forage nécessaire, ce qui rendra parfois précaire la rentabilité de la pompe à chaleur utilisant cette source froide.

La solution la plus pratique consiste à pomper cette eau et à la faire circuler dans l'évaporateur de la pompe à chaleur. D'après nos expériences, dans la région du sud-est, aux environs de 18-20 m, la température de l'eau est sensiblement constante autour de $+13^{\circ}\text{C}$. Dans d'autres régions, elle est plus élevée ou plus basse et nous pouvons noter en fonction de la profondeur une certaine relation entre la température moyenne annuelle et la température de ces eaux souterraines.

L'utilisation de telles eaux peut présenter cependant certains ennuis à l'exploitation. Il faut craindre l'agressivité chimique des eaux, l'entraînement du sable fin, le développement d'algues, l'entartrage.

Le développement d'algues peut être constaté dans l'évaporateur, le coefficient d'échange de ce dernier baisse et le coefficient d'efficacité de la pompe à chaleur subit une chute importante.

De tels ennuis se rencontrent principalement dans l'utilisation de nappes alluvionnaires d'une rivière ou d'un fleuve, les nappes souterraines étant plus ou moins en relation avec les eaux courantes. Ce phénomène s'accroît si le cours d'eau est chargé continuellement en matières organiques et s'enrichit par des déchets

industriels en sels minéraux divers, en particulier nitrates et phosphates, souvent importants dans ces déchets. Les terres alluvionnaires sont imprégnées et s'imprègnent dans ce cas de plus en plus de sels organiques et minéraux. De ce fait, l'eau des nappes est devenue un milieu nutritif très riche, favorisant le développement de plancton et d'algues.

D'après les renseignements connus il y a une évolution de la flore des eaux qui serait en relation avec l'augmentation de la teneur en matières organiques ou minérales des eaux. Une des phases correspondant à la période où la teneur est élevée et où les eaux commencent à se polluer, voit l'apparition d'une algue rouge reconnue dans les lacs suisses dénommée *Oscillatoria Rubesceus* (ordre des Cyanophacées, famille des Oscillaires). Dans ce cas, c'est à l'automne que l'algue apparaît formant des matières mucilagineuses donnant à l'eau une teinte rougeâtre.

Les remèdes ne sont pas encore bien connus, le plus simple, mais long et onéreux, est le nettoyage périodique des tuyauteries. Le traitement au chlore gazeux est essayé mais il ne semble pas toujours donner les résultats attendus. Il est certain que le mode d'action du chlore joue un rôle (action continue ou discontinue à faible ou forte dose). On a essayé, également, de conjuguer l'action du cuivre et du chlore.

L'entartrage, phénomène bien connu sur lequel nous ne nous étendrons pas, est moins important que dans le cas des chaudières, du fait des températures relativement basses utilisées. Les remèdes sont : l'enlèvement mécanique long et onéreux, les procédés « Solavit », les ultrasons.

Le pompage absorbe évidemment une certaine quantité d'énergie électrique variable suivant la profondeur et l'éloignement de la nappe dont il faut tenir compte dans l'étude économique. Cette puissance diminue, évidemment, le facteur d'amplification globale de l'installation.

Bien entendu, le puits doit avoir le débit suffisant, quoique l'on puisse envisager au puits le retour des eaux.

Les eaux usées.

Parmi ces eaux, nous pouvons ranger les eaux de condensation et les eaux usées industrielles. Aujourd'hui, nous rejetons à l'égout purement et simplement des eaux usées industrielles à 30° à 35°C . Nous faisons preuve d'une inconscience parfaite du gaspillage commis. Si les eaux dépassent 38 à 40°C , il est préférable d'utiliser directement la chaleur par l'intermédiaire d'un échangeur ; cette solution sera moins onéreuse et plus pratique que l'installation d'une pompe à chaleur.

Les eaux de condensation rejetées par les condenseurs des machines thermiques, sources d'énormes débits d'eau tièdes constituent d'excellentes sources froides pour pompes à chaleur. Ces eaux de condensation sont d'autant plus intéressantes que souvent leur chaleur est gaspillée dans d'énormes réfrigérants d'eau.

Les eaux usées industrielles et les eaux de condensation sont en général les sources froides de très importantes thermopompes.

Le sol.

Si, dans la généralité des pompes à chaleur existantes, les nappes souterraines, les eaux usées et de condensation, les eaux des lacs sont utilisées, aux Etats-Unis, comme nous le verrons plus loin, le sol est une source

froide relativement souvent employée, surtout pour de petites thermopompes.

L'utilisation du sol pose des problèmes beaucoup plus compliqués que pour les précédentes sources. Nous ne nous y étendrons pas car elle n'est pas encore susceptible d'une grande diffusion dans nos pays européens.

Nous vous signalons simplement l'importance du rapport entre la surface de la prise de calories et la surface de sol utilisée. Suivant ce rapport, le sol considéré comme source à température constante peut devenir une source à température variable. Le sol a une recharge annuelle effectuée par les apports de chaleur du soleil, de l'air extérieur en été, des pluies.

C'est ainsi qu'en partant d'une température de sol à $+ 13^{\circ}\text{C}$ au début d'une saison de chauffage, nous pouvons descendre en dessous de 0°C en fin de saison de chauffage.

Les eaux superficielles.

Les eaux des lacs, des fleuves, des sources, constituent des sources froides intéressantes souvent utilisées, bien que leurs températures soient basses en hiver.

De nombreuses pompes à chaleur utilisent de telles sources; la thermopompe du Royal Festival Hall avec l'eau de la Tamise; celles de Zurich et de Lausanne qui assurent le chauffage de différents bâtiments; celle du barrage d'Eupen en Belgique.

Les installations de telles sources froides peuvent donner lieu à des frais de premier établissement élevés pour l'immersion des évaporateurs. Ces frais peuvent être, en outre, augmentés par la nécessité de les protéger contre les chocs. Il peut être obvié à ces inconvénients en pompant les eaux. Outre les consommations d'énergie de pompage ces eaux étant en général sales, d'importants frais de filtration ou de nettoyage doivent parfois être engagés.

L'avantage est que le débit étant généralement très important l'échange de chaleur n'est pas influencé par le refroidissement de l'eau au passage sur l'évaporateur, toute sa surface est utilisée avec le même écart de température.

Pour être intéressantes de telles eaux doivent avoir une température supérieure à 8°C . Malheureusement, dans nos régions, elles atteignent parfois 0°C , et dans le cas d'utilisation de telles eaux, il est bon de prendre 0°C comme base de température de la source froide.

L'air extérieur.

En Amérique du Nord, nous vous en reparlerons plus loin, l'air extérieur a été souvent utilisé. A notre connaissance, en Europe il ne l'a pas été.

C'est la plus commode des sources froides mais les thermopompes réalisées avec de telles sources présentent de nombreux inconvénients. Entre autres, signalons : les difficultés rencontrées dans le réglage des compresseurs du fait de la variation journalière de la température, coefficient d'efficacité le plus bas correspondant à la température extérieure la plus basse, impossibilité d'utiliser cette source quand la température extérieure descend au-dessous de $- 10^{\circ}\text{C}$.

Comme réalisations, nous pouvons citer aux Etats-Unis, l'installation de chauffage par thermopompe du gratte-ciel à Los Angeles, de la « Edison Co », l'installation de Roanoke de 230 ch.

Les Etats du sud des Etats-Unis poussent beaucoup l'étude de pompes à chaleur utilisant l'air froid extérieur comme source froide.

Dans certains cas l'air intérieur peut être utilisé, surtout pour les petites installations.

Le soleil.

L'utilisation de l'énergie solaire comme source de chaleur paraît très séduisante. Elle est actuellement très à l'ordre du jour. Différents Instituts techniques aux Etats-Unis, la Recherche Scientifique en France ont entrepris des études. Quelques brevets ont été pris aux Etats-Unis pour l'utilisation des radiations solaires par une pompe à chaleur.

Cette source froide donne un coefficient de performance très élevé, les difficultés de son utilisation viennent du matériel collecteur de rayonnement et de la nécessité d'accumuler cette chaleur.

L'utilisation du soleil en est à l'état embryonnaire, mais il est hors de doute que dans les années à venir l'énergie solaire inépuisable sera utilisée comme source d'énergie en concurrence avec l'énergie atomique.

DIFFICULTÉS ÉCONOMIQUES ET FINANCIÈRES RELATIVES AU DÉVELOPPEMENT DES POMPES A CHALEUR EN FRANCE

Une pompe à chaleur comprend schématiquement :

- Une source froide;
- Un ou des compresseurs frigorifiques;
- Une source chaude,

et elle utilise de l'énergie pour son fonctionnement.

Les problèmes économiques et financiers se présentant lors de l'étude d'un avant-projet de thermopompe sont influencés par ces quatre éléments.

Tout d'abord, il convient de noter que partout où le chauffage électrique est, ou doit être, utilisé pour obtenir d'importantes quantités de chaleur à des températures moyennes, il convient d'étudier l'établissement d'une thermopompe. Ceci ressort du fait que dans le chauffage électrique par effet Joule 1 kWh donne 860 calories alors que 1 kWh utilisé par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur peut donner 3 000 à 5 000 calories suivant le coefficient d'efficacité de la pompe à chaleur.

Toute installation exigeant de fortes quantités de chaleur avec des différences de températures modérées convient à l'établissement d'une pompe à chaleur. Plus les quantités de chaleur à fournir sont élevées, plus la durée d'utilisation est longue, meilleur est le rendement de la pompe à chaleur. D'autre part, plus la différence de température entre la source froide et la source chaude est faible, plus le rendement augmente.

Il ne saurait, cependant, être envisagé de généraliser la pompe à chaleur en France où l'énergie électrique est en partie, d'origine thermique. Il convient de faire observer que, même dans ces conditions, l'emploi de la pompe à chaleur est plus recommandable que l'utilisation de chauffage par effet Joule.

Reprenons nos quatre éléments :

Source froide.

Les sources froides n'existent pas à profusion et ne sont pas uniformément réparties sur le territoire français. Nous pouvons, cependant, disposer de sources froides à températures relativement élevées (cours d'eau, lacs, eau de mer), et en tous cas, à des températures notablement plus élevées que celles utilisées en Suisse, par exemple.

Dans certains cas, les conditions sont favorables à l'installation d'une thermopompe, mais l'absence totale de source froide, et même les difficultés techniques, ou le coût trop élevé d'aménagement et d'utilisation de sources froides proches ou éloignées prohibent l'emploi d'une thermopompe.

Dans une partie importante de la France, les nappes souterraines peuvent être utilisées par l'intermédiaire de puits, de même les eaux des barrages et des lacs ainsi que les eaux industrielles et les eaux de condenseurs.

Compresseurs frigorifiques et installation frigorifique.

Un des principaux obstacles au développement en France des pompes à chaleur est le coût élevé du matériel frigorifique. Ces installations nécessitent de fortes immobilisations de capitaux pouvant aller jusqu'à quatre à cinq fois le coût du matériel d'une centrale de chauffage thermique.

Ce coût restera encore élevé pendant une assez longue période pour les grosses installations du fait des difficultés de les fabriquer en grandes séries. L'apparition sur le marché de turbo-compresseurs abaissera sensiblement le coût du matériel frigorifique, mais pas encore suffisamment.

Pour les petites installations, le coût du matériel frigorifique baisse et baissera encore, du fait du développement de l'utilisation du froid dans cette gamme de puissances.

Sources chaudes.

Si nous examinons simplement le problème du chauffage, il faut une source chaude de 40° à 45° C. Le chauffage par rayonnement par le sol fonctionnant à une température plutôt faible (40° C environ) convient particulièrement bien à la pompe à chaleur, la température de la source chaude étant de 40 à 45° C.

Ce chauffage se développe de plus en plus et son utilisation ira en augmentant du fait des perfectionnements techniques continus qu'il subit et de l'abaissement continu de son coût d'installation qui se rapproche de plus en plus du chauffage par radiateurs à eau chaude à haute température.

Nous n'entrerons pas ici dans le détail des avantages du chauffage par rayonnement, nous n'en avons pas le temps, et d'autres, plus qualifiés que nous l'ont déjà fait.

En résumé, pour les sources chaudes dans le cas de chauffage, nous trouverons de plus en plus dans l'installation de chauffage par rayonnement, un élément favorable au développement des pompes à chaleur.

Energie.

Le coût, en France, de l'énergie électrique, est un deuxième obstacle au développement des pompes à

chaleur. Pour que l'exploitation des pompes à chaleur soit économique il convient de disposer d'énergie bon marché pour l'entraînement des compresseurs. La plupart des installations réalisées à ce jour, utilisent des moteurs électriques. Jusqu'à présent, et encore actuellement, la commande des compresseurs par des moteurs électriques se justifie dans les pays ou les régions dépourvus de combustibles naturels et ayant de grandes disponibilités en énergie électrique à un prix bas (Suisse par exemple).

Dans de nombreux pays européens et même dans des pays comme les États-Unis où l'électrification est poussée à l'extrême, il peut paraître irrationnel d'envisager un chauffage par thermopompe avec des compresseurs entraînés par des moteurs électriques. L'énergie électrique est en France la forme la plus noble de l'énergie mais, en contre partie, elle est aussi la plus coûteuse des énergies. Nous devons donc la réserver aux usages assurant le plus le développement de la puissance moderne d'un pays, c'est-à-dire l'industrie; chaque fois que cela sera possible, il conviendra d'entraîner les compresseurs par des moteurs thermiques avec récupération méthodique de toutes les chaleurs perdues. Dans cet ordre d'idées, l'utilisation des productions importantes de gaz naturels, par exemple dans le sud-ouest de la France peut très bien favoriser le développement des pompes à chaleur.

Dans toute la mesure du possible, il faut éviter le gaspillage important provenant de la combustion du charbon comme source d'énergie. De plus en plus, le charbon est considéré comme matière première et l'on s'efforcera de diriger les combustibles solides et liquides, charbon, fuel etc... vers d'autres applications que la combustion pure et simple. Par exemple, distillation des charbons, développement de la pétrochimie. Dans ces applications, le patrimoine national sera exploité avec le meilleur rendement. La combustion de fines ou de charbon de qualité inférieure dans des centrales thermiques changera la face du problème.

D'autre part, la fin du XIX^e siècle et la première moitié du XX^e siècle, ont vu des industries se créer et se développer avec des usines fonctionnant d'une façon très autarcique au point de vue production d'énergie. Cette tendance a nettement changé et, à part des conditions tout à fait particulières, de plus en plus l'industrie ne produit plus son énergie et tend à utiliser l'énergie électrique du réseau. Cette tendance est confirmée par le postulat souvent énoncé que la consommation d'énergie électrique double tous les dix ans. Nous lisons, et nous entendons journellement, que la production et la distribution d'énergie électrique suit difficilement ce rythme. Il convient donc de favoriser et d'aider tous moyens qui permettent de tirer le meilleur rendement d'un kWh : la pompe à chaleur est l'un de ces moyens.

L'équipement hydraulique a fait un très net progrès, et est en constante augmentation, l'énergie atomique et l'énergie solaire viendront se substituer à nos sources classiques d'énergie, charbons et produits pétroliers, — ces derniers étant utilisés à d'autres fins avec un meilleur rendement pour l'économie nationale. La meilleure forme de distribution de l'énergie atomique et de l'énergie solaire sera, dans la mesure où nous pouvons jouer au prophète : l'électricité.

Le développement de l'utilisation de l'énergie électrique ira en s'accroissant soit par nécessité, soit à cause de son coût. Dans les deux cas, il sera très souvent intéressant de passer par une pompe à chaleur pour l'utilisation en chauffage. Il y a donc intérêt, pour l'économie

de notre pays, à suivre de près les techniques de la pompe à chaleur.

Aux États-Unis, après un certain engouement pour les installations de pompes à chaleur, une désaffection était apparue il y a sept ou huit ans. Comme nous le verrons plus loin, un boom apparaît dans la construction des pompes à chaleur, principalement dans des petites unités de 10 000 à 20 000 cal/h. Nous ne voulons pas transposer en France, car aux États-Unis, à la pompe à chaleur, est très souvent jumelée une installation de conditionnement d'air. Les États-Unis réalisent simplement que, par suite de diverses circonstances dont la plupart nous échappent, le fait d'utiliser une pompe à chaleur avec moteurs électriques n'est plus un non sens économique, non sens qu'ils reconnaissent il y a huit ans.

Une autre critique faite à la pompe à chaleur, est sa consommation d'énergie électrique en hiver, c'est-à-dire pendant la saison où, précisément, les possibilités de production de cette énergie sont déjà pleinement utilisées. Pour l'Électricité de France, un important développement de pompes à chaleur à moteurs électriques peut être une cause de déséquilibre de son exploitation, sauf lorsque les pompes à chaleur remplacent un chauffage par effet Joule. Dans ce cas, l'Électricité de France aurait intérêt à favoriser l'installation d'une pompe à chaleur pour rétablir son équilibre d'exploitation en énergie électrique.

Quelle est la situation d'un abonné industriel désireux, actuellement, procéder à l'installation d'une pompe à chaleur, tous les facteurs, — à part l'énergie électrique —, étant favorables à cette réalisation?

Nous nous excusons de nous écartier un peu du sujet et de vous parler des tarifs de fourniture d'énergie électrique.

La fourniture d'énergie électrique est soumise à des conditions générales appelées par euphémisme « contrat d'abonnement » : en fait, il n'y a pas beaucoup de discussion possible, le seul droit de l'utilisateur est de l'accepter... Ce contrat comporte la puissance souscrite par l'abonné.

Suivant la puissance souscrite, il est défini un prix dépendant de trois éléments :

a) Un prix de base P_0 se référant à un index électrique de base I_0 , ce prix de base diminue avec l'augmentation de la puissance souscrite. En général, des prix de base sont donnés pour des tranches de 0 à 50 kW, 50 à 100 kW, 100 à 500 kW, 500 à 1 000 kW.

b) De l'index électrique I actuellement égal à 7 300 pour la H. T.

c) De la pente de l'index électrique α .

Le prix du kWh s'établit en général :

$$P = P_0 + \alpha (I - I_0)$$

Si l'on compare la puissance à souscrire pour un chauffage électrique par effet Joule à la puissance à souscrire par chauffage thermodynamique, leur rapport est égal sensiblement au coefficient de performance de la thermopompe. Par exemple, une installation de chauffage par thermopompe d'une puissance souscrite de 250 kW demanderait une puissance de 700 à 800 kW pour le chauffage par effet Joule.

L'utilisateur du kWh par thermopompe paiera le kWh plus cher que l'utilisateur du kWh par effet Joule. Celui qui tire le meilleur rendement de son kWh est pénalisé. Cela est général dans le cas d'une installation frigorifique exploitée économiquement; elle est pénalisée.

En général, le contrat est assorti d'une clause imposant à l'usager un minimum de consommation égal à 1 500 heures d'utilisation de la puissance souscrite. Dans le cas d'une pompe à chaleur servant uniquement au chauffage, cette clause peut être une source d'augmentation du prix du kWh du fait de la trop courte durée de fonctionnement de la pompe à chaleur. Ce risque est diminué si l'installation frigorifique de la pompe à chaleur est utilisée pour le conditionnement de l'air ou pour produire du froid durant la période chaude ou pour la récupération de calories d'eaux usées industrielles.

A Chalon-sur-Saône, nous avons dû souscrire une puissance bien supérieure à celle que nécessiterait l'Entrepôt Frigorifique (200 kW au lieu de 100 kW). De ce fait, nous n'arrivons jamais à la deuxième et troisième tranches du tarif Électricité de France, contrairement à ce qui se passerait avec l'entrepôt fonctionnant sans thermopompe. D'autre part, les écrasements de puissance sont très difficiles à réaliser. En définitive, au point de vue dépense électrique l'exploitation de l'entrepôt frigorifique est plus coûteuse qu'elle ne le serait sans pompe à chaleur.

En résumé, l'Électricité de France devrait étudier une série de tarifs à appliquer aux pompes à chaleur tenant compte des remarques ci-dessus.

QUESTIONS À ÉTUDIER POUR L'INSTALLATION D'UNE POMPE À CHALEUR

Une étude approfondie portant sur de nombreux points et aspects est nécessaire pour déterminer l'opportunité ou la non opportunité de l'établissement d'une pompe à chaleur. Il convient, tout d'abord, de réunir les principales caractéristiques de la pompe à chaleur pour se faire une opinion approximative. Si celle-ci laisse entrevoir une certaine possibilité, une étude technique poussée est entreprise pour établir le prix de revient de l'unité de chauffage.

Le premier examen doit porter sur les points suivants :

1° Valeur et importance de la source froide (température, volume, débit, coût, etc...)

2° Caractéristique et température de la source chaude.

3° Différence de température entre les deux sources qui doit être aussi faible que possible.

4° Distance de la pompe à chaleur aux sources froides et chaudes. Elles doivent être à proximité l'une de l'autre.

5° Puissance de chauffe qui doit être suffisante pour justifier les dépenses d'exploitation.

6° La pompe à chaleur exige la mise en jeu de capitaux relativement importants qui ne peuvent rapporter que lorsque l'installation travaille suffisamment.

7° Souvent il n'est pas rentable d'installer totalement la puissance de chauffe en pompe à chaleur. Il convient de bien étudier la courbe de la fréquence des températures journalières.

8° L'énergie nécessaire à l'entraînement des compresseurs doit être à un prix abordable.

L'étude technique d'un chauffage par pompe à chaleur ne présente pas de difficultés particulières en ce qui concerne la détermination du circuit thermodynamique (fluide évoluant) du transfert de la chaleur de la source froide à la source chaude.

Les difficultés résident dans l'étude économique de l'installation à réaliser qui doit être serrée de près et, par

suite, dans la détermination du matériel. Pour ce dernier, si l'on peut facilement acheter une chaudière une fois et demie plus forte que celle nécessaire à un programme de chauffage, il n'en est pas de même pour une pompe à chaleur. Les compresseurs, moteurs électriques, surface d'échange représentent un investissement important et l'on ne doit pas se tromper pour l'établissement des puissances à choisir.

L'étude doit être conduite en traçant les courbes de déperdition et de puissance en fonction de la température extérieure moyenne et du nombre de jours pendant lesquels au cours d'un hiver cette température est atteinte. C'est la courbe de fréquence des températures qui sert de base à toute l'étude.

Un autre point délicat est le choix des valeurs optima des débits de fluide en circulation et des surfaces d'échange à mettre en jeu. Il faut exécuter une étude économique qui, en fonction du prix du kWh, du prix des surfaces d'échange, permettra de déterminer exactement les valeurs à admettre, car il ne faut pas oublier que le prix de la calorie produite dépend principalement de la

consommation en énergie électrique, et des frais d'amortissement des installations, les dépenses d'exploitation étant très faibles. Pour chaque pompe à chaleur il y a donc une valeur caractéristique des deux facteurs ci-dessus.

La comparaison du prix de revient de l'unité de chaleur produite par la pompe à chaleur par rapport à une installation chauffée au combustible permettra de juger si l'emploi d'une pompe à chaleur est économique. A cette comparaison devra être jointe celle du coût d'installation.

Il convient d'en ajouter d'autres, difficilement chiffrables, mais qui peuvent avoir une influence sensible, par exemple, l'absence de fumée, l'automatisme de marche, la propreté du service, la mise en régime très rapide, etc...

LA POMPE A CHALEUR DE CHALON-SUR-SAONE

La Société Française d'Appareillage Électrique Gardy exploitait, depuis plusieurs années, une usine de fabri-



FIG. 3. — L'Entrepôt Frigorifique.



FIG. 4. — La Centrale Thermodynamique des E. F. L.

cation de matériel électrique basse-tension (voir fig. 2, page de couverture). Cette usine installée dans des locaux préexistants se révélait insuffisante en superficie et les dispositions des lieux rendaient difficile l'exploitation. La modernisation des moyens de production et l'extension de l'usine nécessitaient d'envisager la construction d'une nouvelle usine. De son côté, la *Société des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* disposant d'une importante chaîne d'entrepôts frigorifiques et fabriques de glace dans le sud-est avait décidé de construire un entrepôt frigorifique polyvalent à Chalon-sur-Saône. Les dirigeants des deux Sociétés cherchaient des terrains en concurrence : de ces recherches naquirent des liens d'amitié qui se développèrent au cours de nombreuses rencontres et il en résulta une collaboration amicale. Les terrains achetés étaient voisins.

La construction des deux usines débuta presque simultanément et, très souvent, les dirigeants et cadres des deux Sociétés se réunissaient parlant évidemment de techniques diverses.

Au cours d'une de ces réunions, où le chauffage faisait les frais de la conversation, ils pensèrent à utiliser l'installation frigorifique de l'Entrepôt Frigorifique, en pompe à chaleur pour chauffer les bâtiments de l'usine *Gardy*. L'idée émise, MM. CHANTEREAU, ROBERT de la *Société Gardy* leurs collaborateurs et les Services techniques de la *Société des Entrepôts Frigorifiques Lyonnais*, passèrent à l'étude de l'avant-projet.

Lorsque ce projet de pompe à chaleur fut connu, ce fut un tollé chez beaucoup, et les promoteurs furent pris pour des gens peu sérieux ou n'ayant pas les pieds sur terre.

Conditions favorables d'implantation.

L'étude technique montra que de très nombreux éléments favorables concourraient, a priori, à l'installation d'une thermopompe.

- Proximité de la centrale de la thermopompe de l'usine à chauffer (environ 120 m).

- Abondance d'eau : soit les eaux de Saône à une cinquantaine de mètres et mieux l'existence d'un puits nécessaire à l'entrepôt frigorifique pouvant débiter 250 m³/h, d'une eau à + 13°C.

- Construction presque simultanée des deux usines.

- Choix par les *Établissements Gardy* du procédé de chauffage par rayonnement par le sol avec de l'eau chaude à basse température.

Mais l'élément primordial était la réduction massive des frais d'investissements de la partie frigorifique du fait que l'entrepôt était dans l'obligation d'en réaliser la plus grande partie pour son exploitation. C'est ainsi que cette pompe à chaleur de 550 000 calories/heure nécessita aux *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* un investissement supplémentaire de 8 500 000 F comprenant l'évaporateur multitubulaire, l'augmentation des surfaces des condenseurs, une partie de la conduite de distribution, des pompes et circuits électriques, soit une dépense de 15,50 F à la calorie/heure installée.

Les avantages respectifs pour les deux sociétés étaient importants :

- 1° Pour les *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* meilleure utilisation du matériel et du personnel, abaissement des frais généraux.

En effet, l'installation frigorifique des *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* donne sa pleine puissance sur l'entrepôt frigorifique en été lorsque les besoins de chauffage sont inexistant. Fin octobre, début novembre la diminution de la température extérieure, le ralentissement du trafic, la température moins élevée des produits entrant en entrepôt, font que les besoins frigorifiques sont peu importants. Plus nous avançons dans l'hiver, plus les besoins frigorifiques diminuent mais, par contre, les besoins en calories augmentent.

2° Pour la *Société Gardy*, réduction notable des investissements nécessaires à la construction de la centrale de chauffage de l'usine, sensible économie de main-d'œuvre et d'exploitation et possibilité d'avoir un système de chauffage s'adaptant rapidement à la demande.

Toutes ces raisons militaient pour l'implantation d'une pompe à chaleur. Les études techniques furent immédiatement entreprises avec l'étude financière du projet. Au fur et à mesure de l'évolution des études, le problème économique fut étudié. Ce projet s'avérait rentable pour les deux Sociétés. Malheureusement, deux inconnues d'importance subsistaient : le prix moyen du kWh et les problèmes fiscaux, en particulier les taxes sur le chiffre d'affaires.

Suivant leur influence, le projet pouvait ne pas être rentable.

Le prix moyen du kWh était difficile à fixer car les conditions d'exploitation de l'entrepôt frigorifique et du chauffage étaient mal connues.

Des prévisions de trafic de l'entrepôt avaient été faites. Or, l'expérience montre la difficulté d'établir de telles prévisions. Quant au chauffage, nous ne connaissions qu'imparfaitement le rôle du sol comme accumulateur de chaleur, et le coefficient d'échange de la voûte plafond de l'usine *Gardy*.

Les deux Sociétés avaient envisagé d'établir un poste haute tension commun, diverses contingences empêchèrent cette réalisation... principalement les règlements! Les tarifs d'*Électricité de France* n'étant pas adaptés à l'exploitation des pompes à chaleur, nous entreprîmes des démarches auprès d'*Électricité de France* afin que la réalisation de cette pompe à chaleur fût facilitée. Elle permettait, sur le plan français, de faire certaines études, de bien discerner les avantages et inconvénients des pompes à chaleur en France. Bref, pour *Électricité de France*, mais principalement pour l'économie française, cette expérience rentable était intéressante à réaliser. Si tous les corps de métier appelés à effectuer cette réalisation s'y passionnèrent et firent tout leur possible pour qu'elle réussisse, un seul : *Électricité de France* ne s'y intéressa pas excepté, toutefois, les services locaux. Nous fûmes donc dans l'obligation de nous passer du concours de l'*Électricité de France* et nous primes un prix moyen du kWh nous laissant une certaine marge de sécurité.

Il restait les questions fiscales.

Reportons-nous en 1952 :

L'usine *Gardy* se chauffant par effet Joule n'aurait payé aucune taxe sur le chiffre d'affaires.

Du fait que deux sociétés s'associaient pour mettre en commun leurs moyens de production, satisfaisant à la propagande de productivité, elles étaient pénalisées. Les *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* devaient facturer les calories fournies à l'usine *Gardy* et les majorer des taxes à la production et des taxes de transaction et locale. Le prix de la thermie était nettement augmenté. Ce problème fut étudié sous tous ses aspects — sans grands résultats — mais l'impossibilité d'y apporter une solu-

tion acceptable ne modifia en rien la décision de réaliser la pompe à chaleur qui s'entourait désormais d'un risque plus grand.

Heureusement, la fortune sourit aux audacieux, et l'application de la T. V. A. réduite apporta une solution à ce problème.

Nous nous excusons de vous avoir entretenus de ces ennuis, ils sont importants, et il n'est pas inutile de les communiquer aux personnes intéressées par l'installation de pompes à chaleur.

Toutes les études étant terminées, les deux Sociétés passèrent à la réalisation. L'installation de chauffage de l'usine prévue dans les projets primitifs fut réalisée, avec quelques modifications, par les Établissements *Nessi-Bigeault et Schmitt*, et la partie frigorifique par les Établissements *Brissonneau et Lotz*. Nous nous plaignons ici à reconnaître l'étroite collaboration et l'aide apportée par M. NEUENSCHWANDER, Directeur technique des Établissements *Brissonneau et Lotz* et ses collaborateurs, ainsi que celle de M. SCHMITT, des Établissements *Nessi-Bigeault et Schmitt*.

Bases de calcul de la pompe à chaleur.

Le programme de chauffage de la *Société Gardy* portait sur une puissance calorifique installée de 1 000 000 de calories/heure. Le chauffage devait être réalisé par plancher chauffant avec de l'eau à 40 à 45°C avec un complément de chauffage pour les journées très froides, fourni par des panneaux chauffants installés dans les voûtes de l'usine avec de l'eau à 80°C. Le plancher chauffant devait suffire à plus de 90 % des besoins annuels de l'usine.

Les conditions imposées par M. MICHALON, Architecte de la *Société Gardy*, étaient les suivantes :

- Température extérieure : — 8°C.
- Température à maintenir : + 15°C.

Compte tenu de tous les renseignements, caractéristiques, conditions climatiques de la région, les services techniques des *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* dirigés par M. GODARD établirent les courbes caractéristiques du chauffage thermodynamique et le Cahier des charges du matériel frigorifique à fournir par les Établissements *Brissonneau et Lotz*. Examinons ces courbes caractéristiques (fig. 5) :

Déperdition maximum des locaux pour la partie construite au-dessus du sol : 815 000 cal/h.

Perte par le sol 100 000 cal/h, pour une température du plancher chauffant de 35 °C.

L'axe des abscisses représente le nombre de jours de chauffage dans l'année, les ordonnées représentent la température moyenne extérieure, la température de l'eau de chauffage et la puissance calorifique.

Nous avons tracé avec les renseignements du centre météorologique de Dijon, la courbe des températures moyennes extérieures en fonction du nombre de jours, où cette température se maintient dans l'année.

Courbe A. — Prenons le point d'abscisse 50 jours et d'ordonnée 2,8°C, cela signifie que 50 jours par an la température moyenne extérieure est inférieure à 2,8°C.

Courbe B. — Cette courbe est déduite de la courbe A et répond aux exigences du projet de chauffage. Elle donne la fréquence de la puissance calorifique que devra fournir la thermopompe pour un fonctionnement continu

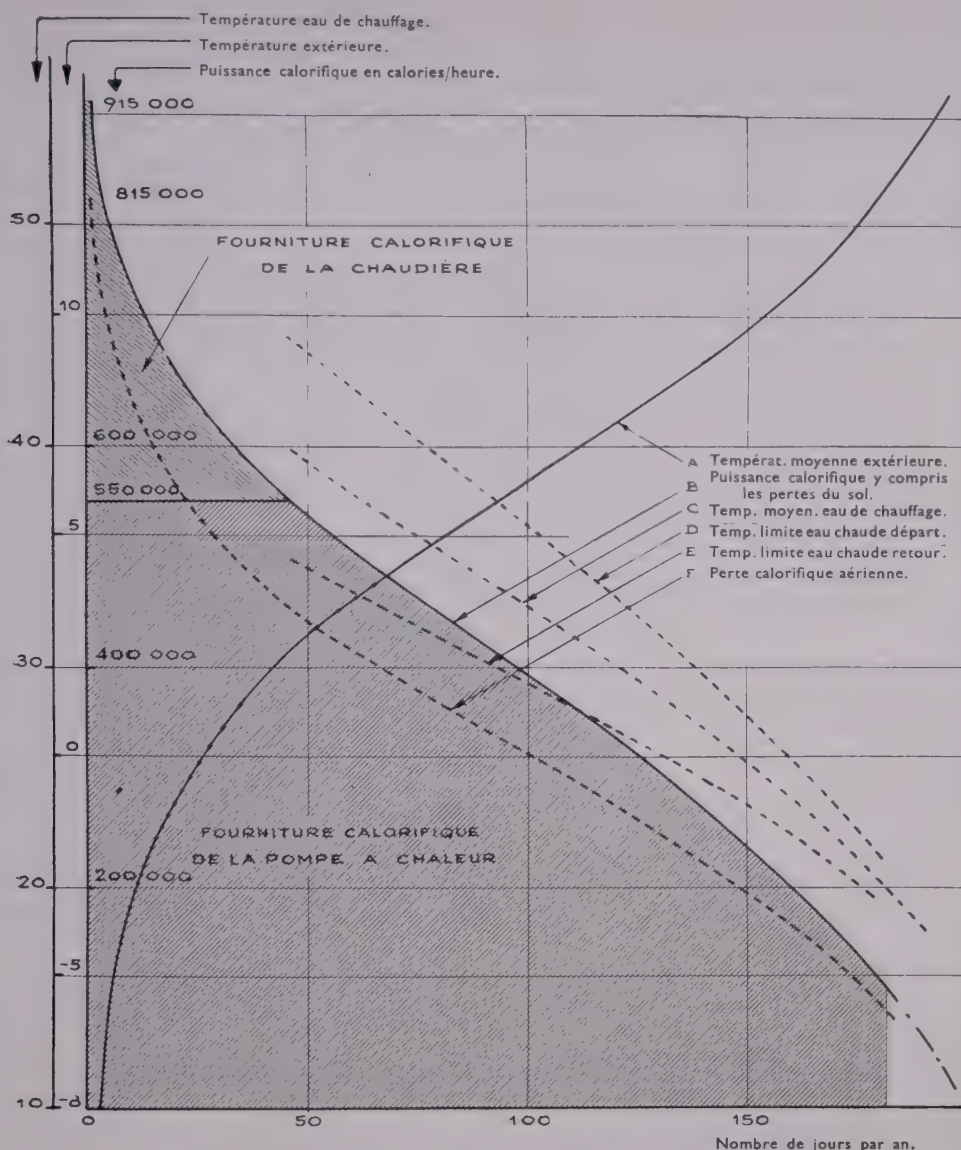


FIG. 5. — Courbes des caractéristiques du chauffage thermodynamique.
Puissance : 550 000 cal/h.

de 24 heures par jour, maintenant une température intérieure de $+15^{\circ}\text{C}$.

Courbe C. — Elle représente la fréquence de la température moyenne, dans le réseau de chauffage, de l'eau circulant à débit constant.

Courbes D et E de fréquence des températures limites de l'eau de chauffage à l'entrée et à la sortie des condenseurs.

Des calculs nous ont permis d'évaluer à 550 000 calories heure la puissance calorifique maximum qui pourrait être fournie par les *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais*. Si nous notons sur la courbe B le point d'ordonnée 550 000, nous relevons l'abscisse correspondante, soit 43 jours. Donc 43 jours par an la puissance calorifique demandée sera au moins de 550 000 calories heure, la

moyenne de la température extérieure étant pendant ces 43 jours d'environ $+2^{\circ}\text{C}$. La pompe à chaleur serait insuffisante 43 jours par an.

L'examen de la courbe A fait apparaître qu'un jour par an la température moyenne s'abaisse à -8°C , la température des ateliers descendant à $+7,5^{\circ}\text{C}$. Pendant 5 jours seulement la température des ateliers serait inférieure à $+10^{\circ}\text{C}$. Il est à noter que cette température moyenne extérieure n'est obtenue qu'une fois sur sept ans.

L'étude de ces courbes caractéristiques nous a amenés à constater que 93 % de la chaleur totale annuelle serait fournie par la pompe à chaleur avec une puissance calorifique installée de 60 % de la puissance maximum nécessaire.

Ces études conclurent également à la suppression de la chaudière d'appoint, d'autant plus que les calculs n'avaient pas tenu compte de la puissance calorifique dissipée par les moteurs électriques de l'usine *Gardy*. Cette puissance calorifique, non négligeable, peut être chiffrée à 120 000 cal/h.

Employant 300 à 400 ouvriers dans l'usine, la *Société Gardy* décida de maintenir une chaudière en cas de panne ou d'incidents graves à la centrale des *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais*.

D'autre part, cette chaudière servirait d'appoint en cas d'hiver très rigoureux. La *Société Gardy* décida de ne pas installer les panneaux chauffants prévus dans les voûtes et d'isoler cette voûte par des panneaux isolants en fibre de bois.

De 1954 à 1955 pendant une saison et demi de chauffage avec des journées très froides, la chaudière n'a pas été mise en fonctionnement.

L'expérience a montré :

1° Que la température intérieure optimum était de 18,5°C et non 15 °C.

2° Que le coefficient de déperdition de chaleur des bâtiments était plus faible que prévu.

Compte tenu de ces éléments et de petites améliorations de circuits, nous sommes en mesure d'assurer seuls le chauffage de l'usine *Gardy* avec des températures moyennes extérieures de — 5°C.

Examinons maintenant les différentes parties de la centrale thermodynamique et de l'installation de chauffage.

Description.

L'installation comprend essentiellement :

Les compresseurs frigorifiques.

Les condenseurs constituant la source chaude de la thermopompe.

La pompe de circulation de l'eau de chauffage.

L'évaporateur constituant la source froide du système, qui soutire la chaleur à l'eau qui le traverse.

Les pompes du puits qui envoient l'eau de la nappe souterraine dans l'évaporateur.

Les tuyauteries de liaison.

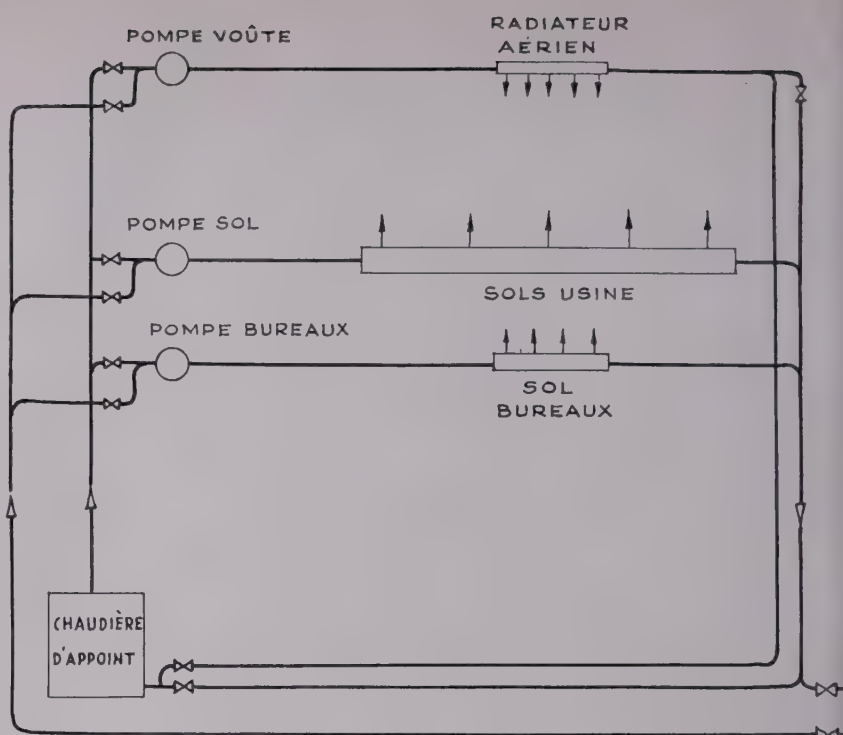
Les appareils de réglage de contrôle et de sécurité.

Les condenseurs.

Ils sont du type multitubulaire horizontal. Ce sont ceux utilisés dans le circuit frigorifique. Toutefois, leur surface d'échange a été considérablement augmentée pour permettre leur fonctionnement en thermopompe.

Le choix des condenseurs dépend de l'écart de températures désiré, de la surface d'échange, du débit d'eau de circulation, de la perte de charge à travers le faisceau de tubes, etc... Tous ces facteurs agissent économiquement les uns sur les autres. Leur détermination dépend des conditions locales.

Les appareils adoptés à Chalon, au nombre de deux, présentent une surface totale de 140 m², ils sont prévus pour un débit unitaire de 40 m³/h, soit 80 m³/h pour l'ensemble. L'écart de températures entre la température moyenne de l'eau et celle de condensation est de 4,4°C. La perte de charge des condenseurs est de 9 m.



La pompe de circulation aux condenseurs débite ces 80 m³/h sous 14 m de charge totale, comprenant celle nécessaire au passage dans les condenseurs et celle qui est absorbée pour envoyer l'eau chaude jusqu'à l'usine *Gardy*.

Cette pompe est du type horizontal, elle fonctionne à 1 500 tr/mn et absorbe une puissance de 4,7 kW.

L'évaporateur.

Il est également du type multitubulaire horizontal. Sa détermination relève des considérations exposées ci-dessus. Sa surface est de 134 m², il travaille avec un écart moyen de 4,3°C. Le débit d'eau qui le traverse est de 110 m³/h, et sa perte de charge est de 5 m.

L'eau est puisée dans un puits filtrant de 3 m de diamètre, au moyen de deux groupes moto pompe verticaux type *Olo*, construction *Guinard*.

Ces pompes débitent 55 m³/h chacune sous 17 m de hauteur manométrique totale. La puissance absorbée par ce pompage est de 11,5 kW aux bornes des moteurs.

Les compresseurs.

Ce sont des compresseurs frigorifiques de construction normale, marque *Brissonneau et Lotz*, type 3 WA 125. Leur puissance frigorifique nominale est de 96 000 F/H à — 10/+ 25. Ils sont entraînés directement par des moteurs électriques à 750 tr/mn.

Ils produisent 157 000 F/h à + 6 + 45°, en absorbant 45 kW aux bornes des moteurs.

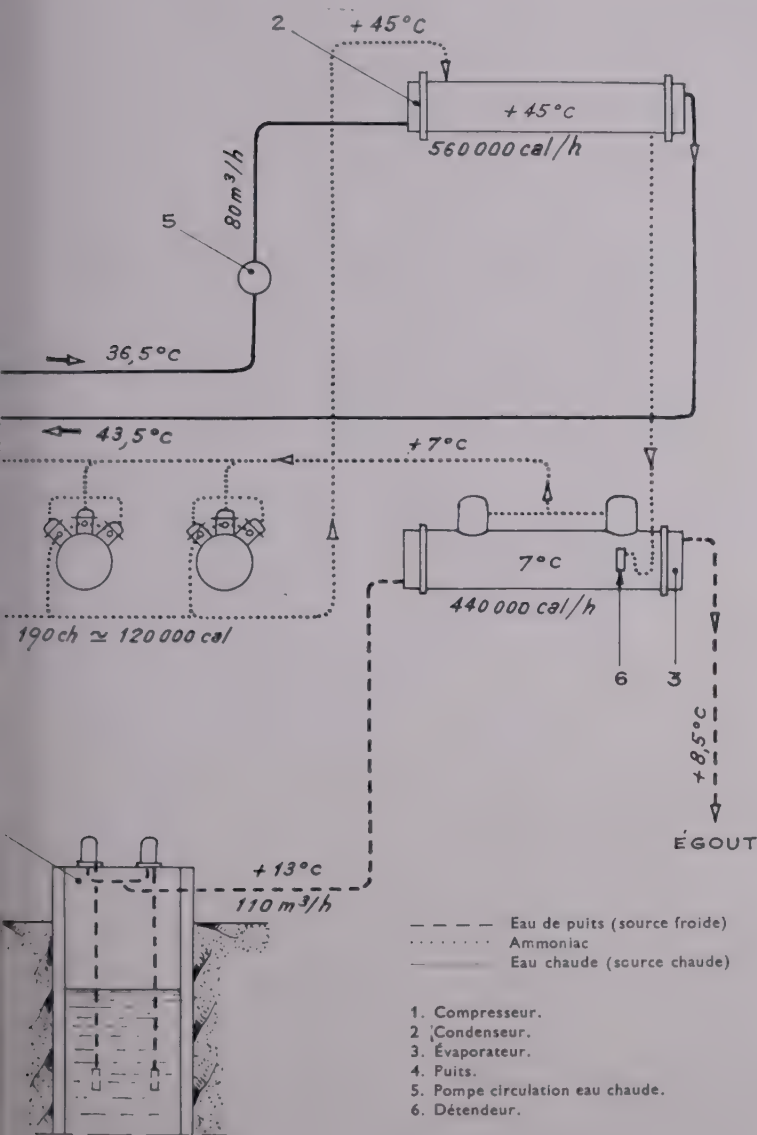
Les tuyauteries de transport de l'eau chaude entre les deux usines ont été réalisées en tube d'acier de 150 mm. Ces tuyauteries sont isolées par 3 cm de liège, protégé par une chape d'étanchéité au *Flintkote*, armée d'une toile de jute. Ces tuyauteries sont enterrées telles quelles dans le sol. Elles reposent au fond de la tranchée, sur un lit de sable.

Moteurs électriques.

Les compresseurs devant pouvoir fonctionner sur les circuits frigorifiques et le circuit pompe à chaleur, il se posait un problème particulier pour le choix des moteurs d'entraînement des compresseurs.

En effet, les compresseurs absorbent au régime $+6^\circ + 45^\circ$, utilisé pour la pompe à chaleur, 65 ch.

Ces mêmes compresseurs travaillant en étage basse pression sur le circuit du tunnel de congélation n'absorbent que 12 ch.



6. — Schéma de l'installation thermodynamique de Chalon-sur-Saône.

Il faut évidemment choisir un moteur pouvant fournir la puissance maximum de 65 ch.

Si, à cette charge, le rendement d'un moteur normal se situe couramment à 89 % et le facteur de puissance à 0,83 lorsqu'il n'absorbe que 12 ch son rendement tombe à

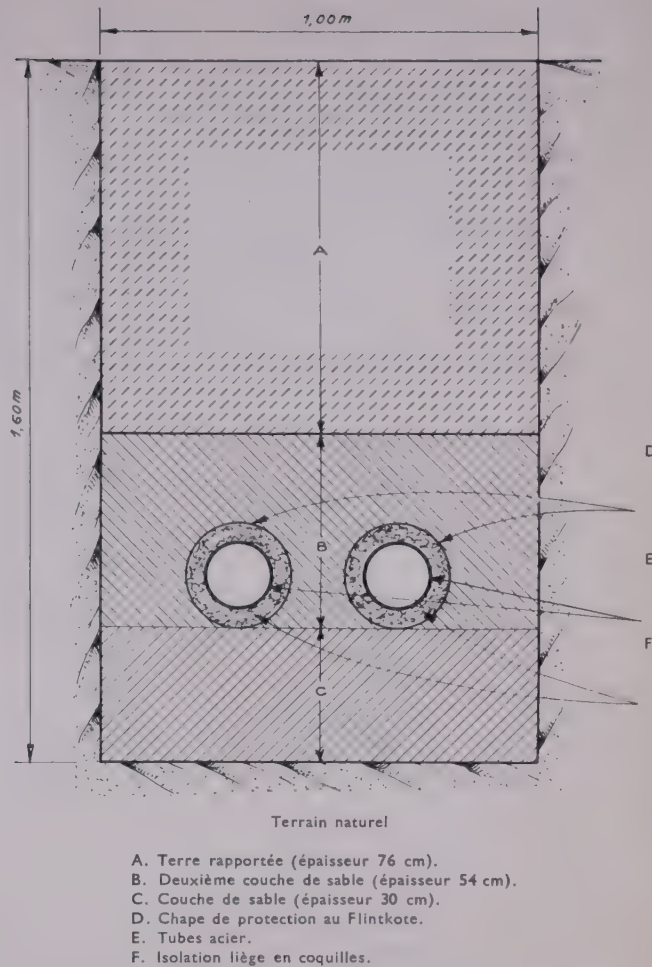


FIG. 7. — Croquis des canalisations dans le sol.

81 %, ce qui n'est pas très grave, mais le facteur de puissance devient 0,3.

La puissance réactive de compensation à lui fournir pour relever le facteur de puissance à 0,88 passe de 8,75 kVAR à pleine puissance à 24 kVAR à la puissance minimum, et la batterie de condensateurs à installer aux bornes du moteur coûte 50 % du prix du moteur.

Ce problème fut résolu économiquement par l'installation de moteurs spéciaux étudiés par la Compagnie Électro-Mécanique, dont le bobinage peut être couplé, soit en triangle soit en étoile composée.

Ces moteurs couplés en triangle peuvent délivrer 65 ch avec un rendement de 89 % et un $\cos \varphi$ de 0,83 et lorsqu'ils sont couplés en étoile composée la puissance maximum qu'ils peuvent fournir n'étant plus que de 38 ch, ils fournissent encore la puissance minimum de 12 ch sous un $\cos \varphi$ de 0,6 avec un rendement de 83 %, et la puissance réactive nécessaire pour redresser le facteur de puissance à 0,88 n'est plus que de 8,5 kVAR dans ce cas.

La même carcasse de moteur contient donc deux machines de puissances différentes, l'une de 65 ch utilisée pour la marche en thermopompe, l'autre de 38 ch, utilisée pour la marche frigorifique.

Comme, d'autre part, les moteurs de la centrale frigorifique sont alimentés par l'intermédiaire de deux jeux de barres BT, afin d'obtenir le comptage de l'énergie absorbée sur les circuits frigorifique et calorifique, l'inversion de l'alimentation et le couplage sont obtenus par la manœuvre d'un seul combinateur au tableau.

Un verrouillage électrique évite toute fausse manœuvre dans l'utilisation de la double puissance des moteurs.

Compteur de calories Trüb Taüber.

Ce compteur comprend un débit-mètre qui mesure le débit, et un jeu de sondes thermoélectriques qui mesure la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'eau.

% d'erreur par rapport à la valeur nominale.

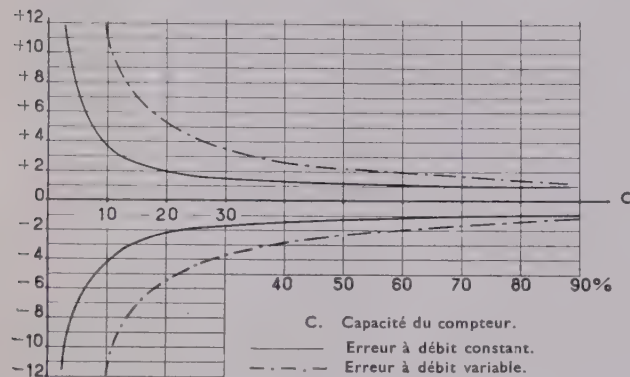


FIG. 8. — Courbe d'étalonnage du débit-mètre.

L'appareil multiplie l'écart de température par le débit pour donner le nombre de calories.

Ces deux facteurs, débit et écart de températures, influencent évidemment la courbe d'erreurs du compteur.

Pour le débit maximum d'eau à travers le débit-mètre l'erreur varie pratiquement linéairement de $\pm 1\%$ à $\pm 2\%$ entre 20 % et 100 % de la puissance du compteur.

Si le débit d'eau est variable également l'erreur peut devenir beaucoup plus grande $\pm 5\%$ à 20 % de la puissance du compteur.

Pour cette raison, il est intéressant d'avoir un système de chauffage à débit d'eau chaude constant, car on élimine pratiquement la variation de l'erreur de l'appareil sur le débit-mètre.

Il faut alors choisir le calibre de l'appareil pour que le débit-mètre travaille à la puissance maximum. D'autre part, la capacité du compteur doit être aussi voisine que possible de la puissance maximum.

Le compteur possède un débit-mètre calibré pour 80 m³/h, alors que le débit d'eau constant qui le traverse est de 79 m³/h et la puissance du compteur est de 600 000 cal/h. La pompe à chaleur travaille entre la puissance minimum de 220 000 cal/h et la puissance maximum de 550 000 cal/h.

Le compteur est utilisé entre 35 % et 90 % de son échelle, donc dans la zone de l'erreur minimum.

Cet appareil a été installé et étalonné sur place par un ingénieur spécialiste de la Société Trüb Taüber.

Dispositifs de sécurité de la pompe à chaleur de Chalon-sur-Saône

Les sécurités d'une installation frigorifique sont de même nature lorsque celle-ci fonctionne en génératrice de chaleur ou en génératrice de froid.

En dehors des sécurités d'ordre purement électrique, chaque compresseur est garanti :

- Contre un manque de pression d'huile (par pressostat différentiel);
- Contre une baisse de pression à l'aspiration (par pressostat à minimum);
- Contre une température exagérée des vapeurs sortant du compresseur (par thermostat);
- Contre une élévation dangereuse de la pression de refoulement (par pressostat à maximum).

I. — Protection contre les surpressions.

En marche frigorifique, les pressions au refoulement des compresseurs dépassent rarement 10 kg/cm²; en marche de pompe à chaleur, la pression peut atteindre 18 kg/cm².

Tout le matériel a été éprouvé à 30 kg/cm².

La marche en *chauffage* rapproche la pression de fonctionnement de la limite admissible.

De plus, les pressostats utilisés, qui sont ceux de l'Industrie frigorifique, travaillent alors à la limite de leur zone de fonctionnement.

Il était indispensable de doubler les sécurités pressostatiques existant sur chaque compresseur, d'un dispositif installé sur le circuit général soumis à la haute pression; c'est une soupape de sûreté en série avec une pastille tarée permettant de laisser s'échapper à l'atmosphère l'ammoniac tant que dure la pression dangereuse.

Cette soupape de sûreté permet, en outre, d'éviter une surpression provenant du fait de l'usine utilisant la chaleur.

En effet, lors de la marche conjointe de la pompe à chaleur et de la chaudière d'appoint, une fausse manœuvre de vannes pourrait conduire à envoyer l'eau sortant de la chaudière dans les condenseurs, ce qui aurait tôt fait de conduire à une pression dangereuse contre laquelle ne pourrait rien l'arrêt des compresseurs.

Nous avons adjoint une troisième sécurité qui, elle, vise à éviter une surpression provoquée par la diminution accidentelle du débit de l'eau chaude consécutive à l'arrêt d'une des pompes de circulation. Un asservissement électrique fait que les compresseurs ne peuvent tourner que si les deux pompes de circulation fonctionnent (l'une installée chez l'utilisateur Gardy, l'autre installée, en série, aux Entrepôts Frigorifiques Lyonnais).

II. — Protection contre les températures d'évaporation trop basses.

Il fallait garantir le matériel contre un autre risque : celui de la congélation de l'eau de l'évaporateur multitubulaire. C'est l'équivalent, dans les installations frigorifiques, du danger de congélation de l'évaporateur à saumure.

Nous disposons là d'une double sécurité :

1° Un pressostat à minimum sur chaque compresseur. En effet, la température de sortie de l'eau de l'évaporateur est en relation directe avec la pression des vapeurs dans l'évaporateur.

2° Sur l'évaporateur un thermostat placé dans l'eau en un endroit judicieusement choisi.

Le passage de la marche frigorifique à la marche « chauffage », ou inversement, oblige à un nouveau réglage des pressostats mini et maxi des compresseurs intéressés.

Possibilités de réglage à l'intérieur de l'usine Gardy

A l'intérieur de l'usine utilisatrice, il existe trois circuits de chauffage distincts :

- Sol du hall atelier;
- Sol des bureaux;
- Panneaux aériens.

Les sources de chaleur peuvent être :

- Thermo-pompe, *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais*;
- Chaudière *Gardy*,

avec possibilité de marche individuelle ou conjointe sur l'un ou l'autre des trois circuits. Chacune des diverses vannes de connexion est notée 1 lorsqu'elle est ouverte, et 2 lorsqu'elle est fermée.

Le pupitre de commande comporte douze voyants alignés correspondant chacun à une vanne; chacun des voyants peut donc présenter les chiffres 1 ou 2. A chacune des combinaisons de marche correspond donc un nombre de deux chiffres obtenu en lisant les indications des voyants de la gauche vers la droite.

Il suffit d'indiquer au surveillant du poste de commande le nombre clé pour obtenir la combinaison de chauffage désirée.

Caractéristiques de la pompe à chaleur.

Ci-après le tableau des résultats d'essais à la puissance maximum (tableau I).

Examinons maintenant la saison de chauffage thermodynamique 1954/1955.

Le tableau II donne mensuellement : les puissances calorifiques, les kWh consommés, les facteurs d'amplification.

Les coefficients de performance donnés tiennent compte de la puissance consommée par les compresseurs et les moteurs annexes (pompes de puits, pompes de circulation d'eau chaude).

Lors de cette exploitation, nous constatons une baisse du nombre de calories fournies et du facteur d'amplification. Après recherche, nous nous sommes aperçus de l'envahissement de nos installations par des algues, phénomènes dont nous vous avons entretenus précédemment. Par suite, la production calorifique diminue dans des proportions sensibles.

C'est ainsi qu'entre le 8 janvier 1955 et le 27 mars 1955, la production avait diminué de 14 % et de 8 à 10 % entre le 8 janvier 1955 et le 28 février 1955. Ces phénomènes de souillure des surfaces d'échange sont bien connus des frigoristes.

Les Services techniques des Sociétés *Gardy* et *Entrepôts Frigorifiques Lyonnais* effectuent de nombreuses mesures qui permettront de mieux connaître les conditions d'exploitation de cette pompe à chaleur. Nous ne pouvons, malheureusement, en faire encore état.

DÉVELOPPEMENT ET EXPLOITATION DES POMPES A CHALEUR — HISTORIQUE

La réalisation des pompes à chaleur est une des plus remarquables créations des techniciens. Le principe est connu depuis longtemps.

En 1852, Lord KELVIN envisageait déjà le fonctionnement et l'utilisation des pompes à chaleur. Ce n'est

Tableau I

Résultats des essais à la puissance maximum

a) — Condenseur.

Puissance calorifique produite au condenseur.	567 000 kcal/h
Température entrée de l'eau au condenseur...	36,6 °C
Température sortie de l'eau au condenseur...	43,4 °C
Température moyenne.....	40 °C
Débit d'eau pour cet écart de température.....	79,6 m³/h
Température de condensation.....	44,4 °C
Pression de saturation correspondante..	18,35 ath absolue

b) — Évaporateur.

Puissance frigorifique produite.....	470 000 F/h
Température entrée de l'eau.....	12,8 °C
Température sortie de l'eau.....	8,5 °C
Débit d'eau pour cet état de température.....	109 m³/h
Température d'évaporation.....	5,7 °C
Pression de saturation correspondante...	5,39 ath absolue

c) — Compresseurs et pompes.

Trois compresseurs à ammoniac 3 WA 125	
Brissonneau et Lotz, régime de marche..	+ 5,7° + 44°
Puissance absorbée sur l'arbre.....	123,2 kWh
Puissance absorbée aux bornes des moteurs des compresseurs.....	137 kWh
Puissance absorbée aux bornes des moteurs des pompes de l'évaporateur.....	11,4 kWh
Puissance absorbée aux bornes des moteurs de la pompe de circulation des condenseurs.	4,74 kWh
Puissance globale absorbée au réseau.....	153,2 kWh
Coefficient d'amplification à la puissance max.	4,3

Tableau II

Chalon-sur-Saône — Saison de chauffage thermodynamique 1954-1955

	NOVEMBRE	DÉCEMBRE	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL
Puissance calorifique						
Produit en kcal	161 300 000	198 230 000	208 530 000	176 870 000	165 750 000	7 840 000
Consommation F. M. en kWh	38 800	54 900	54 850	49 100	45 400	2 120
Facteur amplification	4,86	4,2	4,42	4,2	4,25	4,32
Production annuelle :	918 520 000 cal					
Energie consommée :	245 170 kWh					
Facteur amplification :	4,37					

que depuis vingt-cinq à trente ans que beaucoup de recherches ont été effectuées et des travaux publiés pour montrer les avantages des pompes thermodynamiques.

Pendant la guerre de 1914-1918 et les années suivantes, un certain intérêt se manifesta pour les pompes à chaleur en raison de la pénurie de combustibles qui régnait alors. Puis, cet intérêt passager disparut.

La guerre de 1939 ranima cet intérêt par le manque de combustibles. En particulier, en Suisse, un grand nombre de pompes à chaleur se créèrent pour le chauffage de groupes d'immeubles, la production d'eau chaude, dans diverses industries, la concentration des solutions, dans les industries alimentaires, etc... Ces installations permirent d'économiser des centaines de milliers de tonnes de charbon par an.

Nous ne voulons pas vous faire une énumération qui serait fastidieuse, mais nous essaierons de vous montrer le développement pris par les pompes à chaleur dans chaque pays et, si possible, les techniques qui semblent prévaloir. Il existe dans le monde un assez grand nombre de pompes à chaleur, mais comparé à la diffusion d'autres techniques, ce nombre est faible.

Suisse.

Les principaux promoteurs et installateurs sont : *Brown Boveri* — *Escher Wyss* et *Sulzer*. De très nombreuses sources froides ont été utilisées.

Nous pouvons citer, à Zurich, l'utilisation des eaux de la Limmat pour le chauffage d'immeubles. A Stekborn l'utilisation des eaux du lac de Constance économisant 4 200 tonnes de charbon par an. A Landguar, utilisation de l'air chaud saturé provenant d'une machine à papier. A Schoenenwerd, utilisation des eaux de nappes souterraines.

Le bas prix du kWh et la pénurie de charbon ont grandement facilité le développement des pompes à chaleur.

Italie.

La pompe à chaleur a connu et connaît une certaine vogue en Italie, pour les mêmes raisons exposées pour la Suisse.

Citons les installations de la Caisse Centrale d'Épargne de Milan, la source froide est de l'eau de puits à + 15°C, avec 1 300 000 cal/h; le Palais des Journaux de Milan 530 000 cal/h; la firme Léonardo Vinci à Turin, la source froide est de l'eau de puits à + 8,5°C, sa puissance est 160 500 cal/h; l'Hôtel Danieli à Venise.

Belgique.

La Belgique, important pays producteur de charbon n'a pas beaucoup de pompes à chaleur en exploitation.

Citons une piscine chauffée par thermopompe. La Société de construction frigorifique *Lebrun* a réalisé plusieurs installations. La plus récente est la pompe à chaleur du barrage d'Eupen mise en exploitation début 1954. La source froide est constituée par les eaux du barrage à + 3°C. Elle est destinée à alimenter en eau chaude l'installation de chauffage par rayonnement des bâtiments de la station d'épuration. Le fluide employé est le fréon 12.

Grande-Bretagne.

Le gouvernement anglais s'est préoccupé du problème du chauffage urbain par la pompe à chaleur.

La *British Electrical and Allied Industries Research Association* a construit une pompe à chaleur à l'effet d'étudier la technique des pompes à chaleur et son intérêt économique.

La *Norwisch Electrical City* a réalisé une pompe à chaleur avec une source froide à 5°C.

La plus récente est la pompe à chaleur chauffant le « Royal Festival Hall », du festival 1951, de Grande-Bretagne. La source froide utilisée est l'eau de la Tamise pompée à raison de 8m³/mn. Les compresseurs centrifuges fonctionnent au Fréon 11, et sont entraînés par des moteurs d'aviation, *Rolls Royce*, équipés pour brûler du gaz de ville.

Bateaux. — Plusieurs sous-marins de la classe « T » sont équipés de pompes à chaleur. Un navire de surface, le H. M. S. Vidal est doté également d'une pompe à chaleur pour le conditionnement de l'air toute l'année.

Appareil Ferranti.

C'est une installation originale et intéressante, promise à un avenir certain, basée sur la pompe à chaleur dénommée « Fridge heater », construite par les *Etablissements Ferranti Ltd* de Manchester. C'est un appareil domestique. M. TRAVASSAC en a donné la description dans le Bulletin d'Information des Collectivités.

Il en existerait actuellement en service en Angleterre une cinquantaine d'exemplaires.

L'installation sert à chauffer l'eau à 60°C, pour les besoins de la cuisine et de la toilette et à refroidir un office utilisé pour la conservation des aliments. La source froide est l'air de l'office.

La figure 9 indique l'ensemble de l'installation. Elle comprend l'ensemble de la pompe à chaleur A, un réservoir d'alimentation en eau B, relié à la distribution publique ou à un puits, et un réservoir C d'eau chaude alimentant les postes d'eau : P₁, P₂, etc...

Lorsque de l'eau chaude est tirée d'un poste quelconque, elle est remplacée par de l'eau froide venant de B, la pompe à chaleur est alors mise en route par un thermostat.

Au fur et à mesure que l'eau chauffe elle s'élève par un tuyau calorifugé dans le réservoir C, elle est remplacée par de l'eau fraîche, venant du bas de ce réservoir, qui est amenée au condenseur où elle se chauffe. Ce cycle se continue automatiquement jusqu'au moment où l'eau ayant atteint 60°, le thermostat arrête la machine.

L'humidité de l'air de l'office est collectée dans un récipient et est évacuée.

La figure 10 montre une installation de ce type.

La consommation totale d'énergie électrique dépend du climat et de l'usage de l'eau chaude. On compte en moyenne 1 kWh par jour et par personne, en usage normal.

Le prix de l'appareil est de 141 livres sterling, y compris la purchase tax, soit 100 livres hors taxes.

Cet appareil ne pourrait pas être utilisé pour le chauffage des locaux par radiateurs.

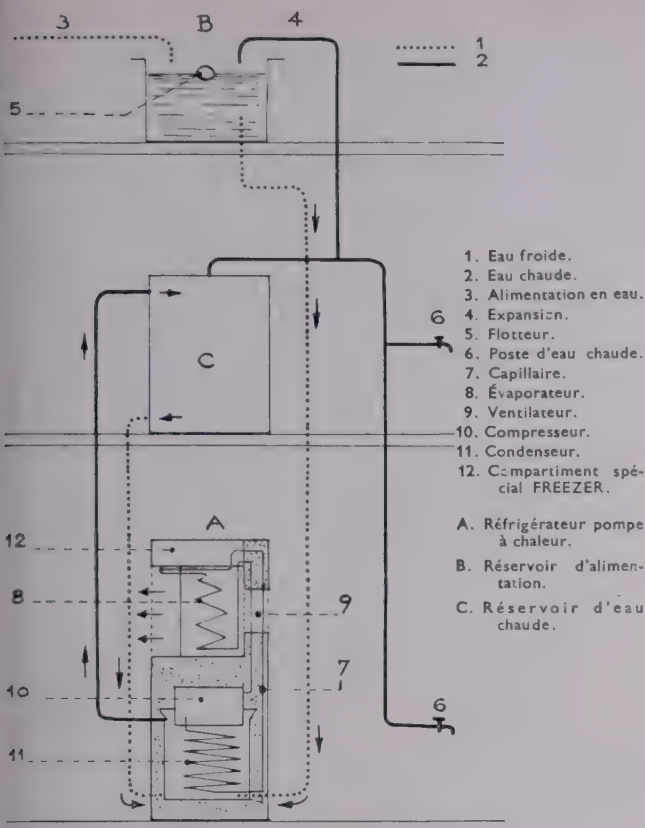


FIG. 9. — Appareil Ferranti — Schéma de fonctionnement.

États-Unis.

De nombreuses installations existent aux États-Unis différentes, tant par leur importance, que par les multiples sources froides utilisées.

Voici quelques réalisations :

— Le chauffage par thermopompe du gratte-ciel de la Edison Co à Los Angelès utilisant l'air atmosphérique comme source froide.

— L'installation de pompe à chaleur de la « New Utah Power and Light Co » la source froide est l'eau réchauffée sortant des condenseurs de la Centrale de Gadsby.

— L'installation de pompe à chaleur de l'« Empire Life Insurance Building » à Indianapolis, construite en 1950 : la source froide est l'eau d'un puits. L'installation de la « Midland Development Co » à Chicago : la source froide est le sol, les calories étant soutirées au sol par l'intermédiaire d'un mélange d'eau et d'alcool, utilisation du fréon 12.

— Le chauffage par thermopompe de l'« Équitable Building » à Portland (Orégon), la source froide est l'eau d'un puits.

— Les thermopompes de l'« l'Health Center », de Roanoke, de l'« Office Building » à Portsmouth, Ohio, de l'« Office Building » à Steribenville, Ohio, utilisent l'air comme source froide.

— Les thermopompes de l'« Office Building » à Canton, Ohio, des « Office Building » à Coshocton (Ohio) à Pikeville, (Kentucky) utilisent l'eau comme source froide.

Toutes ces dernières pompes à chaleur ont une puissance oscillant entre 40 et 70 chevaux. Elles peuvent fonctionner, soit en pompes à chaleur, soit en installation de conditionnement d'air.

Installations diverses.

Nous verrons plus loin qu'à côté de ces installations de plus ou moins grande importance, existe un très grand nombre de pompes à chaleur de 15 à 20 000 cal/h. Voici la description d'une de ces pompes à chaleur.

Pompe à chaleur installée dans une maison d'habitation à Parnia, Michigan.

- Surface de chauffage : 1 400 m²;
- Puissance de la pompe : 3 ch;
- Température du puits : 11°C;
- Coût du 8/9/53 à mai 1954 : 6 283 degrés/jour; 21 dollars par mois.
- Fenêtres : thermopanes — Murs et plafonds isolés;
- Pertes 1 000 kcal/h;
- Température intérieure : 22°C, température extérieure : — 18°C;
- Chauffage plafond radiant;
- Tuyauterie cuivre;
- Température eau chaude 30 à 43°C.

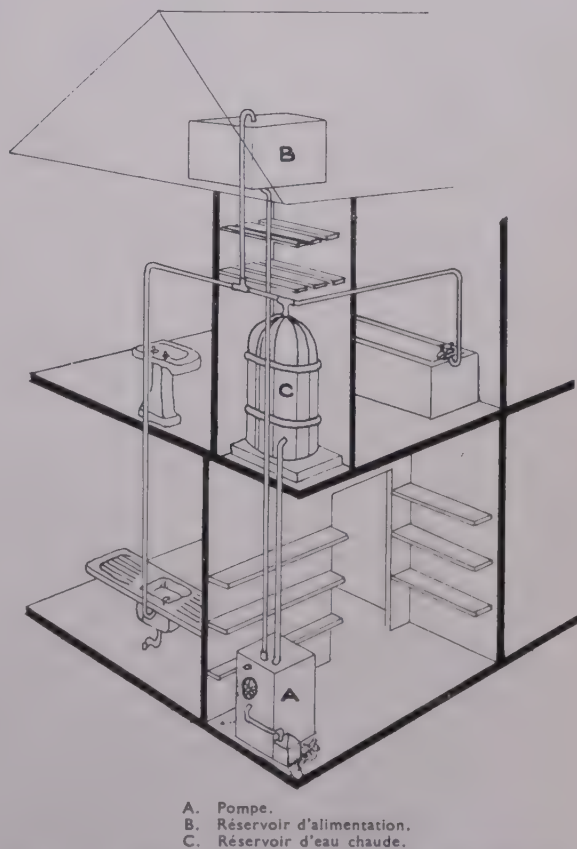


FIG. 10. — Appareil Ferranti — Schéma d'une installation type.

Canada.

Nous tenons à signaler une nouvelle version de la pompe à chaleur. Les chercheurs de l'Université de Toronto en liaison avec les services de la Canadian Defence Research, ont utilisé la pompe à chaleur dans les régions arctiques. Le but de cette thermopompe expérimentale est d'économiser le fuel dans les régions arctiques. Elle utilise la chaleur latente de fusion de la glace. L'eau des lacs en dessous de la surface gelée est la source de chaleur à la température la plus élevée dans ces régions (à environ 0°C). Cette eau est pompée et une installation frigorifique la transforme en glace. La chaleur retirée de l'eau des lacs est utilisée par l'intermédiaire d'un échangeur thermique. La glace produite est pulvérisée et dispersée dans l'atmosphère par un ventilateur.

Cette installation fournit environ 2,3 fois plus de calories par unité de fuel que la combustion directe de ce dernier.

France.

De très nombreux avant-projets très intéressants ont été étudiés en France, mais jusqu'à ce jour, à notre connaissance, il n'existe que peu de réalisations. Certains auraient pu voir le jour, mais le coût du kWh a fait échouer ces projets.

A notre connaissance il existe le chauffage des Hôtels Claridge et Ambassador à Paris.

Avenir de l'emploi des pompes à chaleur.

Nous constatons, dans la majorité des pays, à part les États-Unis, peu de réalisations nouvelles. Examinons, d'abord, le problème aux États-Unis.

Nous vous avons signalé la variété des nombreuses pompes à chaleur américaines, variété due à la gamme de leurs puissances calorifiques et à la diversité de leurs sources froides.

Après un certain engouement, qui a donné naissance entre autres aux deux premières installations citées un peu plus haut, une certaine désaffection a semblé apparaître vers 1948. Depuis environ trois ans, la tendance s'est nettement renversée.

Du 31 janvier au 4 février 1955 s'est tenu à New-York, le Congrès Fédéral d'hiver de l'*American Institute of Electrical Engineers*. Plusieurs ingénieurs spécialisés dans le conditionnement de l'air et les techniques de la pompe à chaleur et l'ensemble des conférenciers estiment que l'industrie de la construction des pompes à chaleur serait bientôt un « Big Business ». Pour votre documentation, voici un tableau établi par E. R. AMBROSE, Président du Comité de pompes à chaleur donnant le recensement des pompes à chaleur existantes au 1^{er} janvier 1955 (tableau III).

E. R. AMBROSE, Ingénieur à l'*American Gas and Electric Service Corp* à New-York, dans son discours d'ouverture prévoit un développement formidable des affaires dans la construction et la vente des pompes à chaleur. Les constructeurs et les vendeurs prévoient des ventes annuelles de 28 000 à 110 000 unités pour 1961. La *Westinghouse Electric Corporation* prévoit que l'industrie devra produire plus de 100 000 pompes à chaleur par an pour 1965. Deux autres membres, G. S. WHITLOV et E. A. FREUND, de l'*Union Electric Company*, dans le Missouri, estiment que les demandes en pompes à chaleur faites actuellement sont plus réelles, et d'une réalisation plus sûre que celles faites pour l'air conditionné, il y a vingt ans.

Tableau III

Pompes à chaleur aux U. S. A.

2 005 installations existaient au 1 ^{er} janvier 1955
dont :
1 070 installations pour habitations.
935 installations commerciales.
Environ 100 installations commerciales ont une puissance de 10 à 222 ch.
Sources froides utilisées.
719 Air.
1 097 Eau.
52 Sol.
137 sont une combinaison de ces trois sources froides.
6 usines peuvent livrer des unités dont la puissance varie de 2 à 20 ch.
<i>Westinghouse Electric Corp.</i> prédit que l'industrie produira au moins 100 000 pompes à chaleur par an en 1965.

Toutefois, ces pompes à chaleur serviront également, dans de nombreux cas, au conditionnement de l'air, et une importante partie sera constituée par des moyennes et petites unités.

Un certain nombre de fabricants font figurer à leur catalogue des matériels de différentes puissances, ce matériel est de série et semble parfaitement au point.

Pour vous donner une idée de l'évolution rapide de la question aux États-Unis nous vous indiquons qu'en 1950 une installation de pompe à chaleur pour une maison particulière d'environ 1 500 cal/h coûtait de 3 000 à 3 500 dollars. La chaudière au charbon automatique coûtait 900 dollars, à laquelle il convient d'ajouter le coût d'une installation de conditionnement pour l'été dont le prix était de 1 000 à 1 200 dollars. L'économie d'exploitation était peu importante. En 1950, c'était un objet de luxe, en 1955 il est envisagé une grande diffusion de ces appareils.

A notre avis, les causes de cet optimisme dans le développement futur des pompes à chaleur ne résident pas dans une tarification de l'énergie électrique, ni dans la récupération de calories perdues. Les causes sont l'abaissement du coût d'exploitation dû à certaines qualités des pompes à chaleur (coefficient d'efficacité, mise en régime immédiate, très grand automatisme, possibilité d'établir conjointement chauffage et conditionnement d'air etc...) et également le caractère pratique des Américains, leur confiance et leur ardeur dans la recherche et la fabrication en série qui ont permis aux constructeurs américains d'envisager une concurrence acharnée avec les autres modes de chauffage.

Revenons en Europe et voyons quel peut être l'avenir de la pompe à chaleur :

Avenir dans les pays européens.

Vous avez certainement entendu parler des importantes usines américaines sans fenêtres, à air conditionné et à éclairage lumière du jour. Les bureaux, les appartements, etc... sont tous « air conditionné ». Si cette faveur aux États-Unis s'accompagne de la faveur du chauffage thermodynamique, il ne faut pas oublier que l'Américain

a pris l'habitude de vivre en vase clos avec un air et une lumière artificiels. Ces conditions sont propres au climat américain et nous ne pouvons les transposer en Europe. L'Afrique du Nord semble pouvoir se prêter à l'emploi d'installations de pompes à chaleur, air conditionné.

Nous pensons donc que la pompe à chaleur pour la climatisation des locaux jouera encore pendant un certain nombre d'années un rôle assez effacé en Europe. En effet, dans beaucoup de régions l'installation pour le conditionnement de pompes à chaleur encore coûteuse ne sera pas justifiée, étant donné que les périodes de grandes chaleurs sont trop courtes.

Les besoins de chauffage étant illimités, mis à part les conditions climatiques, deux considérations entrent en ligne de compte pour essayer de connaître ce que réserve l'avenir à l'exploitation en Europe des pompes à chaleur :

- 1° L'aspect économique,
- 2° La recherche de la meilleure utilisation possible de combustibles et la récupération des calories perdues.

Aspect économique.

Actuellement, les obstacles au développement de l'utilisation des pompes à chaleur en Europe sont le coût élevé de premier établissement de la centrale thermodynamique par rapport à la centrale de chauffage classique et le prix élevé du kWh. Il convient de noter le coût d'exploitation très satisfaisant.

Coût de premier établissement.

Pour une même puissance calorifique installée, les frais d'investissements sont environ quatre à cinq fois plus élevés pour la thermopompe. Les conditions d'amortissement de ce matériel ne sont pas toujours favorables. Le montant de ces investissements pourra-t-il être diminué? Les techniciens frigoristes ont fait réaliser ces dernières années de très grands progrès techniques aux installations qui permettront de baisser sensiblement le montant des investissements. Citons, en particulier, l'apparition sur le marché de turbo-compresseurs à fréon, tournant à de très grandes vitesses. Cette technique frigorifique continue d'évoluer nettement et agira sur le coût de la fabrication. Nous ne sommes pas à la production en série, mais nous croyons à la baisse continue du coût du matériel.

Prix du kWh. — Le prix du kWh en France constitue un handicap sérieux, tout le monde est d'accord pour le trouver trop élevé par rapport à de nombreux pays, que ce soit en heures pleines ou en heures creuses. Malheureusement, la pompe à chaleur se prête difficilement à l'accumulation de chaleur, donc à l'emploi exclusif du courant en heures creuses.

Nous avons vu plus haut qu'un aménagement de la tarification de l'énergie électrique devrait être réalisé par l'Électricité de France afin de ne pas pénaliser les pompes à chaleur pouvant être installées. Nous espérons que notre voix sera entendue. Électricité de France « Service National », nous le verrons plus loin, doit favoriser les possibilités d'expériences de pompes à chaleur, afin de préparer l'avenir pour mieux utiliser les sources d'énergie électrique nationales.

Bien qu'étant un monopole, elle doit faire de très importants efforts pour abaisser le prix du kWh, afin de faciliter l'expansion économique, d'aider à l'abaissement du coût de fabrication de l'industrie et de développer le confort domestique.

Nous n'entrerons pas dans la discussion de ce problème formulant simplement des souhaits pour l'intérêt général.

Meilleure utilisation possible des combustibles.

Les besoins de chauffage étant illimités, les combustibles doivent être utilisés dans les meilleures conditions et avec le meilleur rendement énergétique possibles. D'une part, il faut récupérer les calories perdues et, d'autre part, économiser les combustibles.

Les calories perdues sont à bas potentiel thermique et la pompe à chaleur permet une récupération partielle dans d'excellentes conditions. La pompe à chaleur sous les formes les plus diverses, est utilisable très souvent là où l'on rencontre des eaux de condensation, des eaux résiduaires industrielles, principalement dans l'industrie chimique et les industries de raffinage. Dans ces deux cas, le problème est rendu plus intéressant par la proximité d'installations frigorifiques. Dans les mines où le conditionnement de l'air a une grande importance, l'utilisation de pompes à chaleur peut être envisagée. Un autre champ d'utilisation de la pompe à chaleur est particulièrement intéressant : il se rapporte à ce que nous appellerons « les puissances calorifiques investies non utilisées ». A ce groupe, nous rattachons les entrepôts frigorifiques, les fabriques de glace, les brasseries et les importantes installations frigorifiques de l'industrie alimentaire.

Examinons le problème des industries frigorifiques et des fabriques de glace. Les puissances frigorifiques installées en France s'élèvent à environ 650 000 000 fg/h à $-10 + 25^{\circ}\text{C}$, dont 125 000 000 fg/h pour les fabriques de glace et les entrepôts frigorifiques publics. La majeure partie de ces installations et, en particulier, les plus importantes sont situées dans les grandes villes, leur utilisation est maximum en juin, juillet, août; en novembre, décembre, janvier, février, mars, cette utilisation tombe à raison de 10 à 20 % de leur valeur.

L'avantage de ces installations existantes est la diminution très importante du coût des investissements à réaliser pour l'établissement d'une centrale de chauffe thermodynamique. De ce fait, un des deux principaux obstacles disparaît : il reste seulement le prix du kWh. On ne pense pas souvent à de telles possibilités. Récemment, au cours d'une conversation, un de nos collègues disposant d'environ 400 000 fg/h, m'apprenait qu'à proximité immédiate de son usine l'Électricité de France venait de construire un grand immeuble et que la Sécurité sociale allait entreprendre la construction d'un autre immeuble. Il dispose à profusion d'eau de puits à $+ 8^{\circ}\text{C}$. Nous lui avons suggéré d'étudier le chauffage éventuel des bâtiments de ces deux administrations par une pompe à chaleur.

Ces installations peuvent servir dans certaines villes de point de départ d'un réseau de chauffage urbain, soit directement, soit en appoint à d'autres centrales nécessaires au réseau de chauffage urbain.

Dans toutes les villes de France, on construit ou reconstruit des îlots importants d'immeubles dont le chauffage doit être étudié sur le plan collectif. Les installations frigorifiques existantes peuvent, dans certains cas, avoir un rôle important à jouer. Des pompes à chaleur pourront être créées, pour le chauffage, et on devra s'efforcer d'utiliser leur source froide.

Le chauffage électrique peut lutter difficilement au point de vue économique, avec le chauffage au charbon. Pourtant, la propagande commerciale pousse à l'utilisation de l'énergie électrique pour le chauffage et, en fait, le chauffage électrique par résistance est beaucoup utilisé.

Le coût seul ne compte pas toujours, et beaucoup d'autres considérations interviennent : pour la pompe à chaleur il doit en être de même. La pompe à chaleur en réduisant le prix de la calorie « électrique » permettra dans l'avenir l'extension du chauffage électrique, au détriment du chauffage au charbon.

Pour le présent, si le chauffage par l'utilisation d'une pompe à chaleur peut ne pas paraître intéressant pour l'Électricité de France, du point de vue national il serait susceptible d'abaisser la consommation globale de charbon du pays et des produits pétroliers et, par conséquent, de diminuer des importations qui pèsent lourdement sur son économie.

Nous chauffons l'ambiance des usines, appartements, bureaux, etc... et nous gaspillons des calories libérées à haute température dans des poêles, des chaudières, dans les chaufferies des centrales thermiques produisant l'énergie électrique.

Le charbon et les produits pétroliers, dont les réserves françaises pour les seconds sont limitées, doivent être réservés à des utilisations permettant d'en tirer le meilleur parti, tant industriel que financier pour l'économie nationale. Leur combustion pure et simple dans une chaudière est une hérésie. Ils doivent être réservés, les charbons à l'industrie métallurgique et à la carbochimie et les produits pétroliers à la pétrochimie entre autre. De plus en plus, cette opinion prédomine.

L'exploitation des ressources hydrauliques doit être poussée au maximum, ce qui est fait présentement. D'autre part, il est à peu près certain que l'électricité sera le mode de distribution de l'énergie des piles atomiques et de l'énergie solaire qui sont les sources d'énergie de demain. L'électricité sera de plus en plus utilisée pour tous les usages et, en particulier, le chauffage. La production de l'énergie électrique ne pourra suivre techniquement et pratiquement l'expansion extraordinaire de son utilisation. Si, de nos jours, nous chassons les calories perdues, dans quelques années nous chasserons les kWh perdus. La pompe à chaleur doit, dans ces conditions, prendre un très grand développement dans notre pays. Elle permettra, en outre pour l'utilisateur,

de diminuer d'une façon très sensible le prix du kWh et fournira aux industries du matériel électrique et frigorifique des débouchés nouveaux importants.

Revenons sur l'utilisation de l'énergie solaire qui sera l'énergie de l'avenir.

Deux parties de l'installation sont importantes pour l'utilisation de cette énergie : les collecteurs d'énergie et l'accumulation de cette dernière. De très nombreux collecteurs sont déjà décrits dans la littérature. Les températures requises par la source froide d'une pompe à chaleur sont relativement basses et les radiations solaires seront ici plus facilement utilisables. Le problème de l'accumulation est encore mal étudié et de la rapidité de sa solution, en particulier dimensions et prix de l'accumulateur, dépendra la rapidité du développement des pompes à chaleur utilisant l'énergie solaire. Ces équipements répondront très bien au chauffage et au conditionnement d'air domestiques. Une température de $+ 15^{\circ}\text{C}$ de la source froide donnerait un coefficient de performance de 6 à 8. Nous ne nous étendons pas plus longtemps sur ce point, bien qu'il soit très intéressant.

Nous croyons que les constructeurs de matériel frigorifique auraient intérêt à se pencher sur ce problème car il peut être un facteur important du développement de leurs affaires dans les années à venir.

En conclusion, nous souhaitons voir Electricité de France se pencher sur le problème de la tarification de l'énergie utilisée par les pompes à chaleur.

En vue de l'utilisation des pompes à chaleur, nous souhaitons que tous les techniciens intéressés : spécialistes du chauffage, frigoristes, et les usagers de ces deux techniques, se penchent sur les problèmes pratiques et économiques posés par la pompe à chaleur, en vue de développer une technique qui favorisera beaucoup l'économie nationale. A cet effet, une Commission nationale de la pompe à chaleur devrait être créée, issue d'une collaboration entre l'Association Française du Froid et l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

C'est sur ces vœux que nous terminerons en vous remerciant de votre aimable attention.

DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — Vous avez entendu l'exposé que vient de vous faire M. VIDAL et je puis vous assurer que, pour ma part, j'ai appris avec profit un certain nombre de choses que j'ignorais. Avant de clore la séance, je donnerai volontiers la parole à ceux d'entre vous qui pourraient avoir des questions à poser à M. VIDAL.

M. TUNZINI. — Je me permettrai simplement, non pas de poser une question, mais d'ajouter à ce qu'a dit M. VIDAL, qu'en France un certain nombre de pompes à chaleur d'une certaine importance sont actuellement en fonctionnement, et s'il n'a pas été fait de publicité à leur sujet, c'est que dans leur grande majorité elles ont été réalisées dans des ouvrages militaires.

Une a été installée à Alger, au carrefour souterrain Saint-Saëns où sont aménagées les salles de conférences des Facultés.

Toutefois, pour donner un ordre de grandeur de l'importance de ces pompes à chaleur, j'en connais personnellement cinq dont les puissances varient entre 30 ch et 150 ch. M. de ROUVILLE, Ingénieur en Chef des Travaux Maritimes, a donné, dans le numéro 81-82 du G. E. C. U. S., la description de l'une d'entre elles.

Les sources froides sont, dans quatre cas sur cinq, de l'eau de puits et dans le dernier cas, de l'eau de mer.

Je dois ajouter que ces installations ont été réalisées en conjugaison avec des installations de conditionnement d'air, ce qui a permis de ne pas avoir à se poser le problème de l'amortissement du matériel, les besoins frigorifiques de ces installations nécessitant une centrale de réfrigération.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Il me reste à remercier M. Vidal de cette conférence à laquelle, personnellement, j'ai pris un vif intérêt dont je lui sais gré. Il a fait appel à des autorités qui, sans doute, étaient dans la salle, notamment l'Électricité de France, laquelle devra comprendre les avantages que la généralisation de la pompe à chaleur peut lui apporter. M. Vidal a fait allusion, au cours de son exposé, aux difficultés qu'il a rencontrées pour la diffusion de ce nouveau progrès de la technique. Je ne peux que l'encourager en lui disant que lorsqu'on veut innover en France, ou ailleurs, il faut s'habituer de bonne heure à avoir des contradicteurs, à avoir des oppositions, pour pouvoir savourer plus tard — je vois mon ami Parodi qui sourit — le plaisir d'avoir eu raison.

NOTE COMPLÉMENTAIRE SUR LA POMPE A CHALEUR DE CHALON-SUR-SAONE

Au cours de l'hiver 1955-1956 et particulièrement pendant les grands froids du mois de février 1956 où la température moyenne journalière a oscillé entre -3° et -13°C (celle du mois se situant à -7°C) la pompe à chaleur a fonctionné de façon fort satisfaisante, et au delà de nos espérances.

L'installation a été utilisée à pleine puissance en permanence.

Le quatrième compresseur de la salle des machines a travaillé fréquemment sur le circuit de chauffage. La production était alors de 615 000 Cal/h.

Dans ces conditions, la température des locaux de l'Usine Gardy s'est maintenue à $+17^{\circ}\text{C}$ environ. Elle n'est jamais descendue au dessous de $+13^{\circ}\text{C}$.

La chaudière d'appoint n'a pas été mise en service.

La production de la pompe à chaleur s'est élevée à 312 500 000 cal pendant ce mois de février. Le coefficient d'amplification moyen s'est inscrit à 4,3.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

ÉDITÉ PAR LA DOCUMENTATION TECHNIQUE
DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS,
6, RUE PAUL-VALÉRY, PARIS-XVI^e.

(Ann. I. T. B. T. P.)

3128-6-56. — Typ. FIRMIN-DIDOT et C^{ie}, Mesnil (Eure)
Dépôt légal : 2^e trim. 1956.

Le Directeur-Gérant : P. GUÉRIN.

(Reproduction interdite).

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1956

Neuvième Année, N^{os} 103-104.

Série : QUESTIONS GÉNÉRALES (29)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 17 MAI 1955

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE

M. SILVY-LELIGOIS,

Directeur de la Région d'Équipement Hydraulique Pyrénées-Atlantique
de l'Électricité de France.

APPLICATION DES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES AUX TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

Par **M. J.-N. PLICHON,**

Ingénieur de l'École Polytechnique,
Chef du Service des Études de la Région d'Équipement Hydraulique Pyrénées-Atlantique
de l'Électricité de France.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

La conférence d'aujourd'hui a pour objet l'application des méthodes géophysiques aux travaux de Génie civil c'est-à-dire à la reconnaissance des terrains. Elle vous sera faite par M. Plichon que j'ai le plaisir de vous présenter.

M. Plichon, ancien élève de l'École Polytechnique, a fait toute sa carrière dans l'industrie électrique. Avant la nationalisation de l'électricité, il a appartenu à différents services de la grande société, l'Énergie Industrielle. Au moment de la création de l'E. D. F., il a d'abord été affecté au service d'études et projets de la Direction de l'Équipement; il est actuellement Chef du service des Études de la Région d'Équipement Pyrénées-Atlantique.

La connaissance des terrains est, bien entendu, un des problèmes essentiels qui se posent à l'Ingénieur du Génie civil. A l'occasion de la préparation des projets dont il a eu la charge, M. Plichon a eu à plusieurs reprises la possibilité de faire appel aux méthodes dites géophysiques. C'est du résultat de ces expériences qu'il va vous entretenir; il vous indiquera ensuite les conclusions qu'à l'heure actuelle il est possible d'en tirer.

EXPOSÉ DE M. PLICHON

I — GÉNÉRALITÉS

Les problèmes de Génie civil sont pour la plus grande part des problèmes de fondations : c'est de la forme et de la nature des terrains sur lesquels ils reposeront que dépendront étroitement le prix et la conception des ouvrages.

Si nous prenons l'exemple d'un barrage : en général on a le choix entre plusieurs emplacements et pour un emplacement donné, des solutions diverses ou de types différents peuvent être projetées.

Certaines de ces solutions ou certains de ces emplacements devront être éliminés à cause de la nature du terrain d'appui.

On pourrait multiplier les exemples : choix entre centrale enterrée et centrale extérieure, tracé optimum d'une galerie, etc.

La connaissance des terrains d'appui revêt donc une grande importance dans la conception des projets; l'économie maximum pour une sécurité donnée (but vers lequel doit tendre tout projeteur normalement constitué) ne peut être obtenue que d'après des données suffisamment précises et surtout, l'erreur due à une connaissance trop imparfaite du terrain se paie toujours très cher en cours de travaux.

Parmi les moyens de reconnaissance que la technique met à la disposition du projeteur figure la prospection géophysique.

Ayant eu depuis un certain nombre d'années l'occasion d'utiliser les méthodes géophysiques à la reconnaissance des terrains de fondations, dans des conditions très variées, il m'a semblé qu'il ne serait pas inutile d'attirer l'attention sur les possibilités offertes par ce moyen d'investigation en précisant comment il s'inscrit dans un programme général de reconnaissance et ce qu'on peut espérer obtenir de son emploi judicieux.

Bien que mon propos ne soit pas de vous faire un exposé général des différentes méthodes il n'est pas inutile de rappeler tout d'abord ce qu'est la prospection géophysique et quelles sont les méthodes le plus souvent utilisées dans les problèmes de Génie civil.

Qu'appelle-t-on prospection géophysique?

On groupe sous ce vocable un ensemble de moyens d'investigations du substratum guidées par l'étude des propriétés physiques de la matière. Le nombre des propriétés physiques utilisables est assez élevé et chacune pouvant être exploitée de différentes façons, le nombre des méthodes de prospection géophysique est très grand :

RÉSUMÉ

Les méthodes de prospection géophysiques se ramènent toutes à l'exploration d'un champ existant naturellement ou artificiellement dans le sous-sol. Les méthodes utilisables actuellement sont les méthodes de résistivité et les méthodes sismiques.

Dans les méthodes de résistivité, on injecte du courant entre deux électrodes et on mesure entre deux autres électrodes une résistivité apparente dont la valeur est intermédiaire entre les résistivités de tous les terrains intéressés. L'interprétation est plus ou moins facile suivant la nature et les caractéristiques des couches différentes.

Les méthodes sismiques utilisent la vitesse de propagation des ondes élastiques comme paramètre caractéristique du terrain. On distingue la méthode de sismique réflexion et la méthode de sismique réfraction qui permettent de déterminer la qualité des terrains et l'épaisseur des différentes couches.

La géophysique peut s'appliquer à de nombreux problèmes de génie civil.

SUMMARY

Geophysical prospection methods are all directed to the exploration of a field existing naturally or artificially in the sub-soil. The two methods in use at present are the resistivity and the seismic methods.

In the resistivity methods a current is passed between two electrodes and, between two other electrodes, an apparent resistivity is measured, the value of which is intermediate between the resistivities of all the soils being prospected. The interpretation is more or less simple according to the nature and characteristics of the various layers.

Seismic methods use the speed of propagation of elastic waves to indicate sub-soil characteristics. The use of both the seismic reflection and refraction methods permits a determination of sub-soil quality and of thickness of the various layers. The science of geophysics may be applied to numerous problems in civil engineering.

elles se ramènent toutefois à un type uniforme qui est l'exploration en surface d'un champ existant naturellement ou artificiellement dans le sous-sol.

Ce champ peut être stationnaire ou transitoire.

Les méthodes les plus connues sont :

La gravimétrie qui étudie le champ de la pesanteur;

Les méthodes magnétiques qui utilisent la mesure du magnétisme terrestre;

Les méthodes qui font appel à l'étude des courants électriques existant naturellement dans le sol (polarisation spontanée, courants telluriques);

Les méthodes dites de résistivité électrique du nom du paramètre physique qui intervient dans ces mesures;

Les méthodes sismiques qui consistent dans l'examen de la propagation d'une onde élastique dans le terrain.

On peut encore faire appel aux mesures de température, de radiations etc...

Le but final de la prospection géophysique est de déterminer les caractéristiques du sous-sol par des mesures physiques effectuées à la surface.

Le caractère général de toutes ces méthodes est que par le fait même qu'elles consistent dans l'exploration d'un champ, toute mesure effectuée à la surface est déterminée par la constitution du sous-sol dans un espace plus ou moins considérable parfois même théoriquement jusqu'à l'infini. Une première conséquence est qu'en

géophysique il n'existe pas de mesure pouvant donner un résultat ponctuel : toute mesure ne reflète que l'état global dans une portion de terrain et toute interprétation en un point ne peut être que le résultat d'une série de mesures : en outre chaque méthode ne donnera de renseignements valables qu'autant que le paramètre physique considéré sera suffisamment différencié suivant les natures des terrains sous-jacents.

On peut encore remarquer que, eu égard à l'acuité de nos instruments de mesure et à la distance plus ou moins grande à laquelle ces instruments cessent pratiquement d'être influencés, il est un certain nombre de méthodes qui ne sont exploitables qu'à très grande échelle et qui échappent ainsi à l'utilisation pour les besoins des travaux de Génie civil où la superficie et la profondeur à explorer, sont généralement faibles.

Autre observation générale : les mesures étant faites à la surface du terrain, elles seront d'autant plus faciles à interpréter et les résultats d'autant meilleurs que le relief sera plus régulier.

* * *

En Génie civil, les seules méthodes pratiquement employées à l'heure actuelle sont les méthodes de résistivité et les méthodes sismiques qui permettent toutes deux l'exploration sur de petites dimensions. Nous allons les passer rapidement en revue.

II — MÉTHODES DES RÉSISTIVITÉS

Dans ces méthodes ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, le paramètre physique considéré comme définissant chaque nature de terrain, est la résistivité spécifique électrique.

Ce qu'on cherche donc à déterminer c'est la répartition des résistivités suivant la profondeur. Le problème est théoriquement accessible par l'étude des potentiels de surface dans une circulation de courant déterminée et à condition bien entendu, qu'on connaisse un nombre suffisant des paramètres en cause.

Voyons comment on peut aborder ce problème.

Supposons tout d'abord qu'on injecte un courant I en un point A de la surface plane d'un terrain homogène et isotrope de résistivité ρ .

Les surfaces équipotentiellles sont naturellement des sphères centrées sur A (fig. 1) et l'application de la loi

d'Ohm entre des sphères de rayon r et $r + dr$ donne :

$$-dV = \rho \cdot \frac{I dr}{2\pi r^2},$$

ce qui en intégrant donne :

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi r},$$

on peut donc mesurer ρ dans ce cas par l'équation :

$$(1) \quad \rho = 2\pi r \frac{V}{I}.$$

Ce cas est peu utilisé, en pratique, et on est conduit au schéma de la figure 2.

Deux électrodes A et B reliées à un générateur injectent un courant I dans le sol et deux autres électrodes S et



FIG. 1.

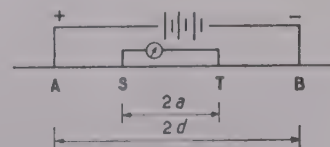


FIG. 2.

T situées sur l'alignement des deux premières sont reliées à un voltmètre donnant la différence de potentiel V existant entre ces deux points.

Nous pouvons considérer le champ créé dans ce cas comme la superposition de deux champs sphériques : l'un positif centré sur A et l'autre négatif centré sur B. Comme on est dans un plan de symétrie les grandeurs s'ajoutent algébriquement et l'application de la formule (1) donne :

$$\text{Potentiel en S} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AS} - \frac{1}{BS} \right).$$

$$\text{Potentiel en T} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AT} - \frac{1}{BT} \right).$$

Différence de potentiel mesurée

$$= V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{AT - AS}{AS \cdot AT} + \frac{BT - BS}{BS \cdot BT} \right),$$

$$\text{ou } V = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot ST \left(\frac{1}{AS \cdot AT} + \frac{1}{BS \cdot BT} \right).$$

Pratiquement on utilise toujours une disposition symétrique par rapport au milieu de AB et en appelant $2a$ la longueur ST et $2d$ la longueur AB on trouve la formule suivante :

$$(2) \quad V = \frac{2\rho I}{\pi} \cdot \frac{a}{d^2 - a^2}.$$

Si on connaît V, I et les longueurs d et a on peut déterminer la résistivité par la formule :

$$(3) \quad \rho = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{I} \cdot \frac{d^2 - a^2}{a}.$$

Dans cette formule si nous exprimons V en millivolts, I en milliampères, d et a en mètres, nous obtiendrons ρ , en ohms mètre carré par mètre, unité la plus généralement employée en géophysique.

La formule (3) bien qu'établie d'après une hypothèse tout à fait particulière est, nous allons le voir, extrêmement importante. On sent en effet intuitivement que plus les électrodes A et B sont éloignées et plus les lignes de courant pénètrent profondément dans le sol ; par conséquent, en cas de terrain non homogène la résistivité calculée par la formule (3) dépendra d'autant plus de la résistivité réelle des couches profondes que les électrodes A et B seront plus éloignées. Il est bien évident que l'application de la formule (3) ne nous donnera pas la résistivité réelle d'une nature de terrain mais quelque chose d'intermédiaire entre les résistivités de tous les terrains intéressés.

On donne le nom de résistivité apparente au résultat du calcul par la formule (3) pour la distinguer de la résistivité réelle qui serait mesurée in situ.

Soit ρ_a cette résistivité apparente, elle n'a d'ailleurs d'intérêt qu'autant qu'elle est associée avec la grandeur géométrique de la mesure c'est-à-dire la distance AB.

Ces quelques principes vont permettre de comprendre comment on fait un sondage résistif et comment on peut l'interpréter.

Supposons un terrain homogène horizontal d'épaisseur h et de résistivité ρ_1 reposant sur un terrain d'épaisseur infinie et de résistivité ρ_2 . Nous allons calculer la résistivité apparente avec des distances croissantes entre les électrodes A B.

Au début seul le terrain supérieur sera pratiquement intéressé par les lignes de courant et la résistivité apparente sera pratiquement égale à ρ_1 puis peu à peu les lignes de courant seront influencées par le terrain profond et pratiquement ρ_a commencera à différer de ρ_1 lorsque A-B sera de l'ordre de $4h$; on traduit ce fait en disant que la profondeur de sondage est égale au quart de la longueur d'émission. Mais ce n'est là qu'une règle empirique et en tous cas il ne faut pas en conclure que pour explorer une couche à une profondeur h il suffit d'une distance quadruple des électrodes.

En réalité, pour une exploitation correcte des résultats, la distance des électrodes de courant doit être beaucoup plus grande et d'ailleurs variable suivant le rapport des résistivités, en général de l'ordre de dix à vingt fois la profondeur.

Lorsque enfin AB devient très grand par rapport à h , ρ_a tend vers ρ_2 .

Le cas des deux terrains est accessible par le calcul, on peut donc d'après un certain nombre de mesures déterminer ρ_1 , ρ_2 et h .

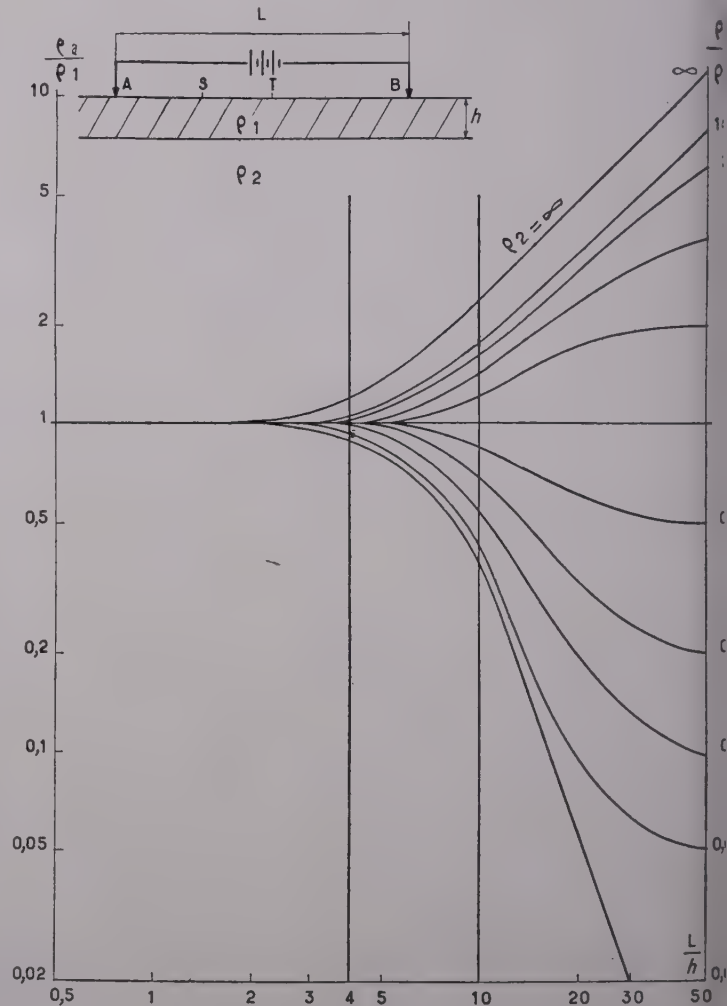


FIG. 3.

Le calcul étant toutefois pénible, on a recours à l'artifice suivant :

Dans un diagramme logarithmique sans dimension on trace la famille des courbes calculées de $\frac{\rho_a}{\rho_1}$ en fonction de $\frac{h}{2a}$ pour différentes valeurs de $\frac{\rho_2}{\rho_1}$. Il suffit donc de reporter sur ce diagramme la courbe tracée d'après les résultats du sondage pour avoir par interpolation ρ_2 et h ; ρ_1 ayant été obtenue par les mesures courtes.

Pour la facilité du travail d'interprétation on peut utiliser non pas un seul diagramme mais une série de diagrammes établis pour différentes résistivités.

Lorsque le terrain est composé de plusieurs couches horizontales, l'interprétation devient beaucoup plus difficile et plus imprécise. On peut évidemment utiliser l'artifice précédent du report de la courbe expérimentale sur une famille de courbes calculée, mais dans ce cas le nombre des paramètres arbitraires est de cinq (trois résistivités et deux épaisseurs) qu'on peut ramener à trois paramètres sans dimension et par suite l'album des abaques trois terrains devrait comporter une double infinité de réseaux de courbes. Le dépouillement d'une courbe de trois terrains peut se faire par un calcul d'approximations successives mais c'est assez long.

On ne peut d'ailleurs obtenir un résultat convenable que lorsque la deuxième couche est d'une épaisseur suffisamment grande par rapport à la première et que sa résistivité est suffisamment distincte.

Le problème se complique encore lorsqu'il y a variation continue de résistivité dans une couche, lorsque les couches ne sont plus horizontales mais obliques et lorsque la roche n'est pas isotrope (cas des schistes) (fig. 4, 5, 6, 7, et 8).

La technique opératoire varie un peu suivant les prospecteurs : le courant envoyé dans le sol peut être continu, continu alterné, ou alternatif à très basse fréquence. Pour le Génie Civil où les lignes ne dépassent guère 800 m ou 1 km on peut se contenter d'un ensemble de piles comme générateur. Les intensités nécessaires sont de l'ordre de quelques dixièmes d'ampère au maximum.

Pour les électrodes de courant A et B il n'y a pas de précaution spéciale à prendre sinon d'essayer d'avoir un contact aussi bon que possible, pour S et T on peut utiliser des électrodes impolarisables ou des piquets ordinaires.

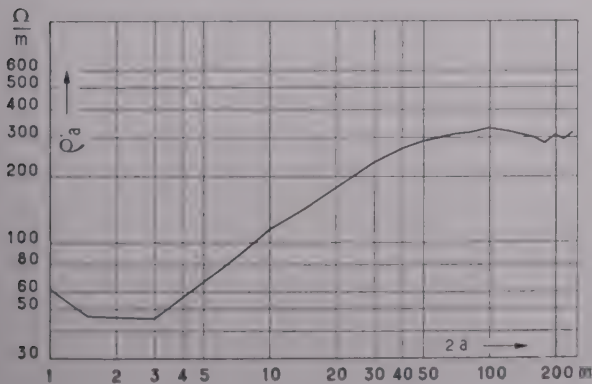


FIG. 4. — Mesure de résistivités ($\rho_2 > \rho_1$).

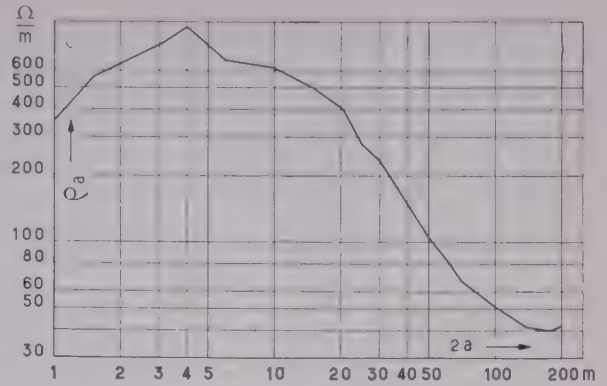


FIG. 5. — Mesure de résistivités ($\rho_2 < \rho_1$).

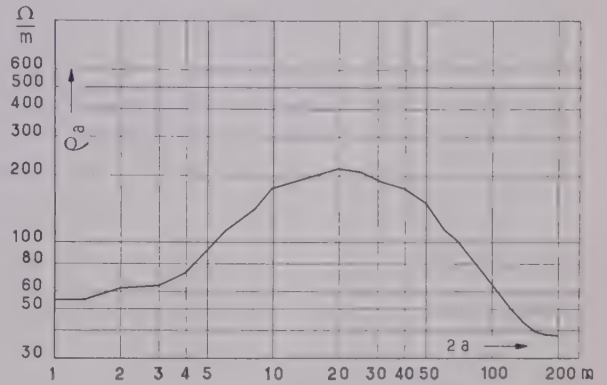


FIG. 6. — Mesure de résistivités, cas de trois terrains.

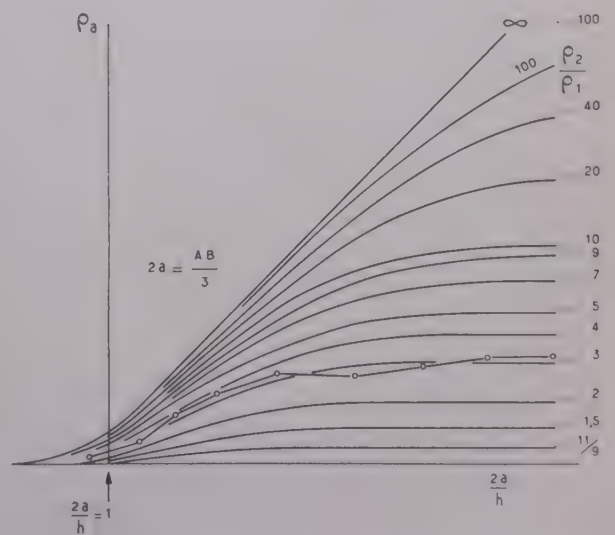


FIG. 7. — Report d'une mesure sur abaque (deux terrains).

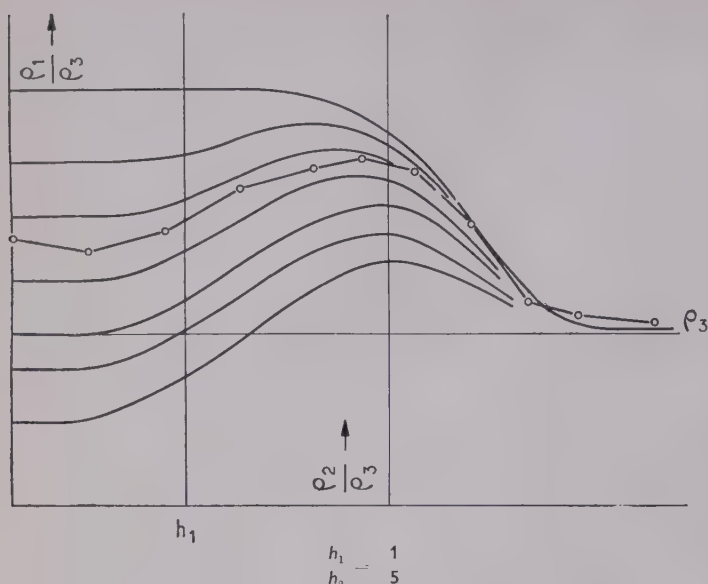


FIG. 8. — Report d'une mesure sur abaque (trois terrains).

Dans le premier cas, on a moins de corrections à faire pour ramener le voltmètre au zéro en l'absence de courant I (à cause des courants vagabonds dans le sol).

Enfin les électrodes de tension S et T peuvent être fixes (mesures type Schlumberger) ou mobiles et dans ce cas on prend souvent $AS = ST = TB$ (mesures Type Wenner).

Il existe d'autres moyens d'investigation fondés sur la résistivité que celui du sondage proprement dit tel que nous venons de le voir.

Les principaux sont le *Trainé*, le *Racom* et le *carottage électrique*.

Le *Trainé* consiste à déplacer l'ensemble ASTB parallèlement à lui-même en gardant toutes les longueurs fixes.

Contrairement à la méthode résistive que nous venons de voir et qui est en somme l'exploration en profondeur sous un point déterminé de la surface (d'ailleurs pour cette raison on l'appelle couramment sondage électrique), le *trainé* est une exploration à profondeur constante. On ne peut, des résultats d'un *trainé*, déduire la profondeur des couches; mais on peut grâce à ce procédé mettre en évidence des discontinuités subverticales dans la nature du sous-sol. Si par exemple on a à déterminer la ligne de contact entre deux terrains verticaux cachés par des alluvions, on fera plusieurs profils de *trainés*: avec les résultats obtenus on pourra dessiner la carte

des résistivités apparentes pour une longueur constante entre électrodes de courant: on ne pourra déduire grand chose des variations lentes de résistivité, mais on pourra généralement définir assez exactement les points de transition qui se marqueront par la variation rapide de résistivité apparente.

Le *Racom* est une méthode d'exploration où les électrodes de courant sont fixes et les électrodes de tension, au nombre de trois, mobiles. On emploie dès le départ une distance très grande entre électrodes de courant et on fait des mesures en partant d'une de ces électrodes et en considérant l'autre comme étant à l'infini.

On suppose les trois électrodes de tension alignées sur la source à distance finie et on mesure les tensions entre l'électrode centrale et les deux électrodes extrêmes. Il est facile de montrer que, si le terrain est homogène, le rapport de ces deux tensions est constant lorsque les distances entre les électrodes de tension et l'électrode de courant varient proportionnellement.

On peut, lorsque le terrain n'est plus homogène tracer les courbes donnant le rapport des tensions mesurées en fonction d'une longueur (écartement entre électrode de courant et électrode centrale par exemple).

Par l'utilisation d'abaques spéciaux, on peut alors en déduire la profondeur (dans le cas de deux couches à surfaces planes parallèles bien entendu). La précision est du même ordre de grandeur que pour un sondage électrique.

Le calcul est un peu plus long que pour le sondage électrique mais cette méthode est utilisable avec un peu moins de personnel.

Le *Racom* est surtout précieux pour définir des contacts subverticaux car on a des mesures beaucoup plus nettes que dans le *trainé*: les variations du rapport de tension sont beaucoup plus rapides au voisinage d'un contact vertical que celles des résistivités apparentes d'un *trainé*.

On peut employer des variantes du *Racom* pour définir la direction du pendage lorsque la séparation des deux couches est inclinée par rapport à la surface topographique.

Cette direction de pendage peut d'ailleurs être obtenue aussi en faisant des mesures de résistivité dans trois directions autour d'un point. On trace une ellipse de résistivité dont l'un des axes correspond à la direction de la pente.

Le *carottage électrique* est la mesure des résistivités à différentes profondeurs d'un forage non tubé. Les dispositifs de mesure sont variés: cette méthode permet, soit de vérifier les résultats d'un sondage si on a des doutes sur le carottage mécanique ou si le forage n'a pas été carotté, soit de permettre un étalonnage d'une prospection géophysique: lorsqu'on n'a pas de possibilité de faire cet étalonnage sur des affleurements, ou qu'on veut vérifier in situ avec plus de précision l'étalonnage fait sur affleurements (différences d'humidité ou d'altération possible entre l'affleurement et la roche sous-jacente).

III — MÉTHODES SISMQUES

Lorsqu'on provoque un ébranlement en un point du sol, le mouvement initial se transmet au milieu environnant sous formes d'ondes nommées ondes sismiques ou ondes élastiques.

La théorie montre que la propagation des ondes dans

un solide s'opère suivant deux mécanismes distincts, auxquels correspondent deux vitesses différentes.

On est ainsi amené à considérer l'onde longitudinale qui correspond à un phénomène de compression et l'onde transversale à un phénomène de cisaillement: la première

est la plus rapide (les vitesses sont sensiblement dans le rapport 1,7). Les deux ondes coexistent toujours lorsque la perturbation initiale est quelconque.

Les méthodes sismiques de prospection utilisent la vitesse de propagation des ondes élastiques comme paramètre caractéristique de la nature du terrain. Une différence fondamentale entre le phénomène de propagation des ondes dans un milieu solide avec les mêmes phénomènes en milieu liquide ou gazeux c'est que dans le premier cas et même en milieu homogène et isotrope le mouvement d'un point quelconque ne cesse pas lorsque disparaît la perturbation initiale, mais se prolonge pendant une durée considérable. Dans ces conditions l'arrivée de la première onde transversale se produit alors que le milieu est encore en oscillation du fait des ondes longitudinales : il est donc extrêmement difficile de les distinguer. Aussi on n'utilise pratiquement dans les méthodes sismiques à l'usage du Génie civil que les ondes longitudinales.

Pour celles-ci la vitesse de propagation est donnée par la formule :

$$(4) \quad V = \sqrt{\frac{E}{d} \frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}}$$

dans laquelle E est le module d'élasticité,
d la densité,
 σ le coefficient de Poisson.

On voit d'après cette formule que la vitesse est liée aux caractéristiques mécaniques du milieu et que sa mesure présente en elle-même un grand intérêt : pour une roche donnée elle est surtout variable avec le module d'élasticité, c'est-à-dire traduit pratiquement l'état de compacité ou de fracturation en place.

Les méthodes sismiques se ramènent à deux types généraux : la sismique réflexion et la sismique réfraction.

La sismique réflexion ressemble au sondage par ultrason des fonds marins : on mesure le temps qu'une onde met à faire le trajet entre la source et un capteur proche de la source après réflexion sur une surface de contact entre deux terrains de natures différentes. Ce procédé extrêmement simple en théorie nécessite un appareillage assez compliqué et en plus ne donne de bons résultats que si l'ébranlement est créé à une certaine profondeur au-dessous du sol : pour des recherches à grande profondeur l'explosif est placé entre 10 et 30 m sous la surface du sol. La complication de l'appareillage tient à la nécessité de pouvoir déterminer à coup sûr l'onde de retour alors que la surface du sol continue à être en mouvement sous l'effet des ondes arrivées directement : le moyen employé consiste à multiplier le nombre de sismographes (24 par exemple) et à enregistrer sur une même bande les oscillations de ces appareils ; on constate alors qu'à l'arrivée de l'onde de retour, un déplacement simultané est enregistré par tous les appareils et vient se superposer aux mouvements anarchiques précédents : on peut alors définir avec précision le temps d'aller et retour de l'onde.

La prospection par sismique réflexion est une de celle qui conduit aux résultats les plus précis et en conséquence elle est très généralement employée pour les recherches de pétrole : malheureusement son emploi à faible profondeur est difficile et elle est rarement appliquée pour des problèmes de Génie civil.

Nous en arrivons maintenant à la sismique réfraction dont l'emploi est au contraire très courant et très facile pour des profondeurs médiocres. Elle repose sur les principes suivants.

Considérons (fig. 9) deux terrains horizontaux homogènes séparés par une surface horizontale : nous supposons (cette hypothèse est d'ailleurs très importante) que la vitesse dans le terrain supérieur est plus faible que celle dans le terrain inférieur.

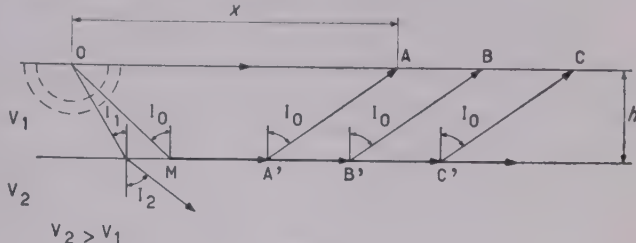


FIG. 9.

Si nous créons un ébranlement en un point O de la surface nous allons donner naissance dans le terrain supérieur à un train d'ondes sphériques : on peut comme en optique considérer des rayons normaux aux surfaces de front d'onde.

Lorsqu'un rayon sismique rencontre une surface de séparation de deux milieux il se réfracte en obéissant à des lois identiques à celles de Descartes en optique.

Soient I_1 et I_2 , V_1 et V_2 les angles et les vitesses ; dans les deux milieux nous aurons :

$$\frac{\sin I_1}{V_1} = \frac{\sin I_2}{V_2}$$

Nous avons, comme en optique, un angle d'incidence limite tel que $\sin I_0 = \frac{V_1}{V_2}$ à partir duquel se manifeste la réflexion totale. La théorie diffère sérieusement de l'optique lorsqu'on considère le rayon réfracté correspondant au rayon d'incidence limite. En effet, en sismique tout se passe comme si ce rayon qui, théoriquement circule à la surface de contact des deux milieux, se propageait dans le milieu le plus rapide en donnant naissance en tous points de la surface de contact à des rayons réfractés sous l'angle limite dans le milieu à vitesse lente.

Ce phénomène paradoxal est bien démontré par l'expérience, il paraît qu'on peut aussi le prouver mathématiquement.

Quoi qu'il en soit, considérons un point quelconque de la surface du sol à la distance x de l'origine des ébranlements. Le temps mis par l'onde directe se propageant uniquement dans la couche supérieure pour parvenir à ce point est évidemment $t_1 = \frac{x}{V_1}$.

Le temps mis par un rayon réfracté passant par le deuxième milieu pour atteindre le même point est :

$$t_2 = \frac{2 OM}{V_1} + \frac{MA'}{V_2} = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cos I_0}{V_1}$$

On constate ainsi que lorsque

$$x > 2h \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}} = x_0, \text{ on a : } t_2 < t_1$$

et par conséquent l'onde réfractée arrive avant l'onde directe.

Si on connaît V_1 , V_2 et si on détermine expérimentalement x_0 , on peut donc calculer h .

La théorie précédente est facilement extrapolable à plusieurs couches.

Remarquons que, comme dans le cas de deux couches, une condition essentielle est que les vitesses dans les différentes couches aillent toujours en croissant de la surface en profondeur.

La technique opératoire d'application de la théorie ci-dessus consiste à disposer sur un même alignement un certain nombre de sismographes et à provoquer la perturbation initiale (au moyen d'une charge d'explosif en général) sur le même alignement.

On enregistre sur une même bande les ondes reçues par les sismographes (fig. 10 et 11) ainsi que la mise à feu électrique pour avoir le temps origine.

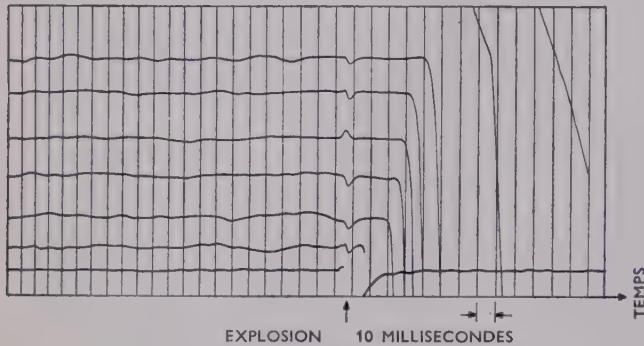


FIG. 10. — Exemple de sismogramme.

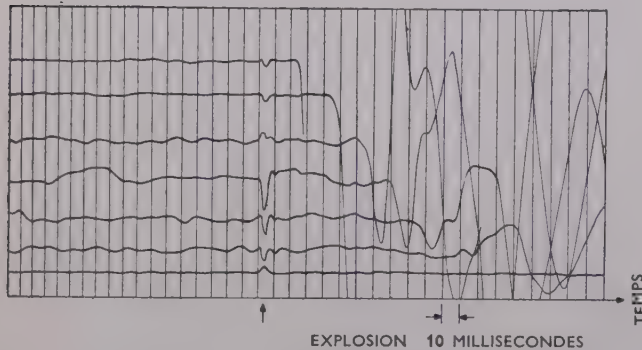
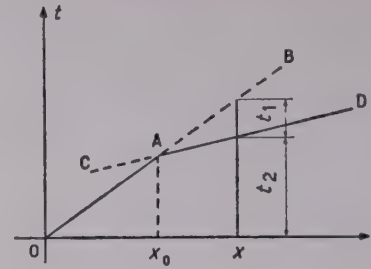


FIG. 11. — Exemple de sismogramme.

On mesure sur le sismogramme ainsi obtenu le temps auquel chaque sismographe a reçu la première onde et on trace un graphique de temps de parcours en fonction de la distance des sismographes à la perturbation initiale : ce graphique appelé dromochronique se présente dans le cas simple de deux terrains comme sur la figure 12.

Le tronçon OA correspond à la transmission directe, sa pente donne la vitesse V_1 .

Le tronçon AD correspond à la transmission réfractée et sa pente donne la vitesse V_2 .



$$h = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

FIG. 12.

L'intersection des deux droites donne l'abscisse x_0 on a donc tous les éléments pour calculer la profondeur h .

Le cas de plusieurs couches se traduit par une ligne polygonale.

En pratique les diagramme ne sont pas toujours simples à interpréter; les points ne s'alignent pas rigoureusement par suite des erreurs de mesure; si le contact n'est pas horizontal, si la surface topographique n'est pas régulière, mais surtout et c'est un cas assez fréquent, si la vitesse de propagation dans un des milieux n'est pas constante, les résultats sont susceptibles d'être entachés d'erreurs parfois importantes.

On peut utiliser la sismique réfraction suivant d'autres techniques opératoires.

Par exemple pour localiser une anomalie du sous-sol on peut disposer les sismographes en éventail à égale distance du lieu de l'explosion.

En traçant la courbe des temps d'arrivée en coordonnées polaires on peut déceler la direction dans laquelle la transmission est la plus retardée ou la plus accélérée. Par recoupements avec d'autres opérations analogues, on peut ainsi localiser une anomalie.

Une autre possibilité est la mesure des vitesses à de très faibles profondeurs (quelques mètres) dans un terrain connu, pour essayer d'en déduire par exemple l'épaisseur d'altération superficielle.

Pour des mesures très courtes il n'est pas toujours besoin d'utiliser des explosifs, un coup donné sur le rocher avec une masse peut être suffisant.

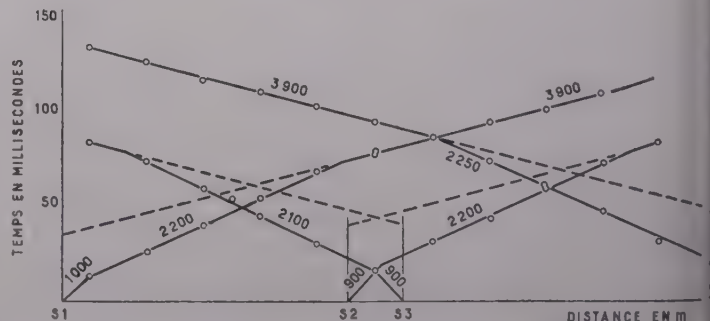


FIG. 13. — Exemple de dromochronique et interprétation.

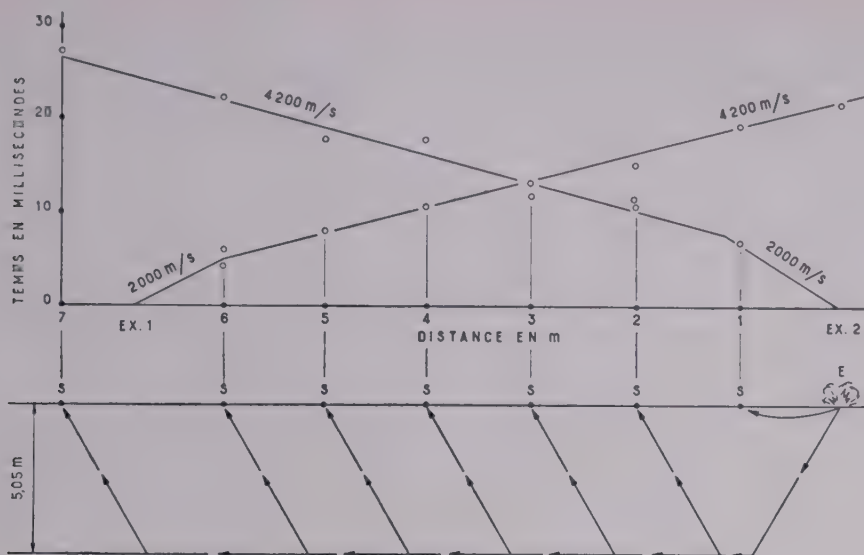


FIG. 14. — Exemple de dromochronique et interprétation.

IV — CARACTÉRISTIQUES DES TERRAINS

Après cet exposé peut-être un peu ennuyeux mais nécessaire pour la suite, voyons tout d'abord quels sont les ordres de grandeur des résistivités et des vitesses rencontrées dans les terrains et comment ils peuvent caractériser tel ou tel type de roche.

Certains minerais seuls ont une conductibilité analogue à celle des métaux. La conductibilité des roches est due à l'électrolyse des solutions salines qui les imprègnent. La roche devient isolante par dessiccation : il est donc visible que la résistivité d'une roche n'est pas un paramètre défini et qu'il est variable suivant les conditions d'humidité du terrain ou d'altération de la roche.

Malgré cela on peut indiquer un classement grossier des roches suivant leur résistivité.

Les roches les plus conductrices sont :

les marnes et argiles,	5 à	100 ohms m ² /m
ensuite les schistes marneux ou calcaires, calcaire marneux	50 à	500 —
les calcaires cristallins, les grès	300 à	800 —
les quartzites, micaschistes, schistes siliceux	500 à	3 000 —
granit, roches éruptives compactes	3 000 à	20 000 —

Les formations de surface, alluvions, moraines, ont des résistivités très variables suivant leur granulométrie et leur teneur en eau. Certaines formations particulièrement grossières et sèches peuvent dépasser 1 000 ohms, des alluvions argileuses et humides peuvent descendre à 10 ou 15 ohms.

L'altération peut faire considérablement diminuer la résistivité.

Une haute résistivité électrique est en général le symptôme d'une roche de bonne qualité : mais il y a des exceptions : des alluvions sèches peuvent atteindre plus de 1 000 ohms et j'ai eu l'occasion de rencontrer des schistes ampeleux compacts dans lesquels la présence de pyrite faisait tomber la résistivité à moins d'un ohm. Il faut donc être extrêmement prudent pour attribuer une qualité au terrain sur la seule donnée de sa résistivité. Il peut arriver aussi que deux terrains en contact aient des résistivités voisines ce qui rend difficile sinon impossible leur distinction : cela se rencontre par exemple lorsque des alluvions reposent sur une roche altérée dans sa partie supérieure, il est parfois difficile de séparer ce qui est alluvion de ce qui est roche altérée. En principe d'ailleurs pour déceler avec une précision suffisante les terrains sous-jacents, il faut pouvoir faire des étalonnages sur des affleurements de surface ; en suivant de proche en proche l'enfoncement d'un terrain depuis un affleurement, on ne risque pas de grosses erreurs. Notons enfin qu'une grande irrégularité de la courbe d'un sondage est toujours le signe d'une zone de broyage.

Du côté des vitesses de propagation, si l'éventail des valeurs est beaucoup moins ouvert, les valeurs obtenues en terrain compact sont relativement peu variables d'un site à un autre pour une même roche, encore que la vitesse augmente toujours avec la profondeur : toutefois ce phénomène est peu sensible pour des profondeurs de l'ordre de 100 m.

Les ordres de grandeurs sont les suivants :

Formations superficielles sèches	500 à 1 000 m/s
Mêmes formations humides	1 600 à 2 000 —
Marne, craie, terrains tendres	1 800 à 2 500 —
Schistes, quartzites, calcaires durs	3 000 à 5 000 —
Granite	3 500 à 5 500 —
Glace de glacier	3 700

Contrairement à ce que nous avons vu avec les résistivités, une haute vitesse de propagation est toujours l'indice d'une roche de bonne tenue et la réciproque est vraie : l'altération conduit toujours à un abaissement des

vitesse. Par exemple un granite de bonne tenue donnera 5 500 m/s, lorsqu'il sera diaclasé la vitesse s'abaissera à 3 000 m/s et s'il est très fissuré on pourra descendre jusqu'à 1 500 m/s.

V — EXEMPLE DE TRAVAUX DE RECONNAISSANCE

Voyons maintenant sur des exemples concrets le genre de renseignements qu'on peut demander aux géophysiciens.

Le cas simple des deux terrains homogènes en couches planes parallèles ne se rencontre pas toujours et dans les travaux d'équipement hydroélectrique des régions montagneuses il est même exceptionnel, toutefois dans de nombreux cas l'épaisseur du terrain superficiel varie assez lentement pour qu'en un point, on puisse considérer les deux couches comme parallèles.

Un exemple de ce genre peut être la recherche de l'épais-

seur d'éboulis couvrant le flanc d'une montagne pour rechercher le meilleur emplacement d'une fenêtre d'attaque de galerie, ou pour déterminer approximativement la longueur de souterrain qui devra être boisée et revêtue. Ce pourra être également dans une vallée assez large, la recherche de la profondeur du bedrock en vue d'une fondation de centrale. Ce sera également la recherche d'un contact entre deux formations lorsque ce contact est masqué par de la moraine, des éboulis ou des alluvions. On pourra ainsi tracer par raccordement avec les affleurements un véritable écorché géologique du terrain.

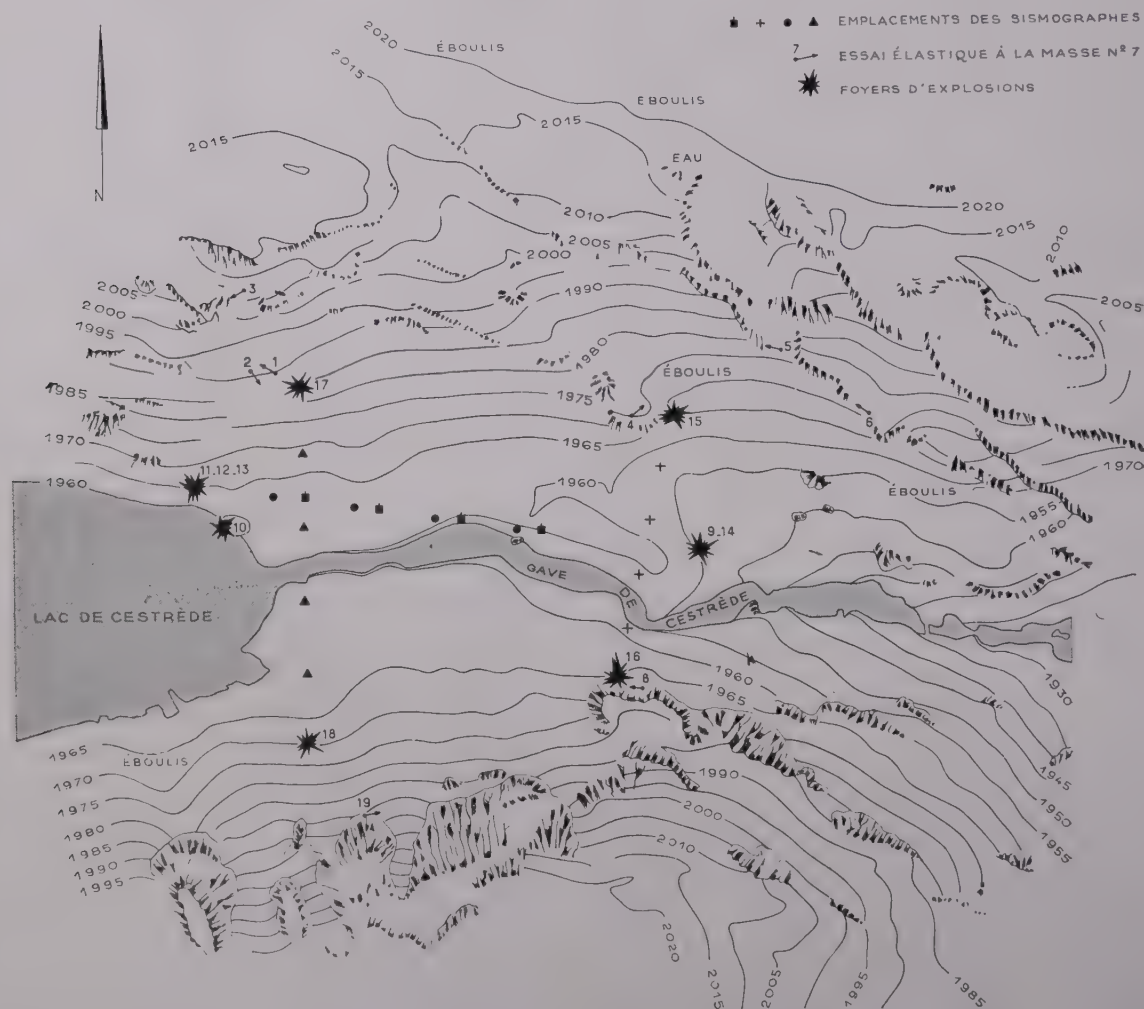


FIG. 15. — Cestrède — Implantation des sondages sismiques.

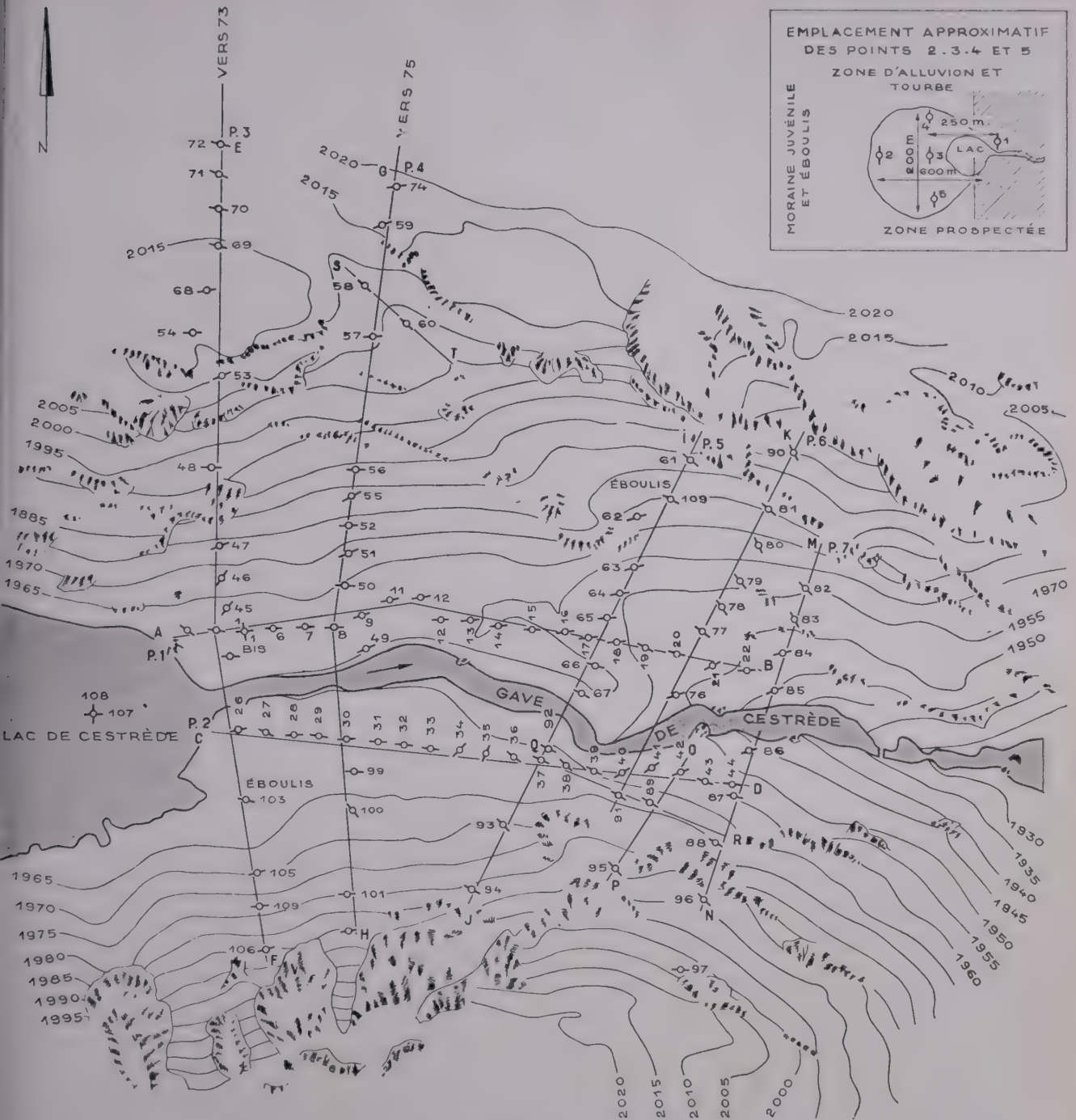


FIG. 16. — Cestrède — Implantation des sondages électriques.

Dans tous ces cas la méthode par résistivité ou la sismique réfraction donnent de bons résultats.

Notons en passant qu'on peut employer la sismique sous l'eau, ce qui permet par exemple de rechercher

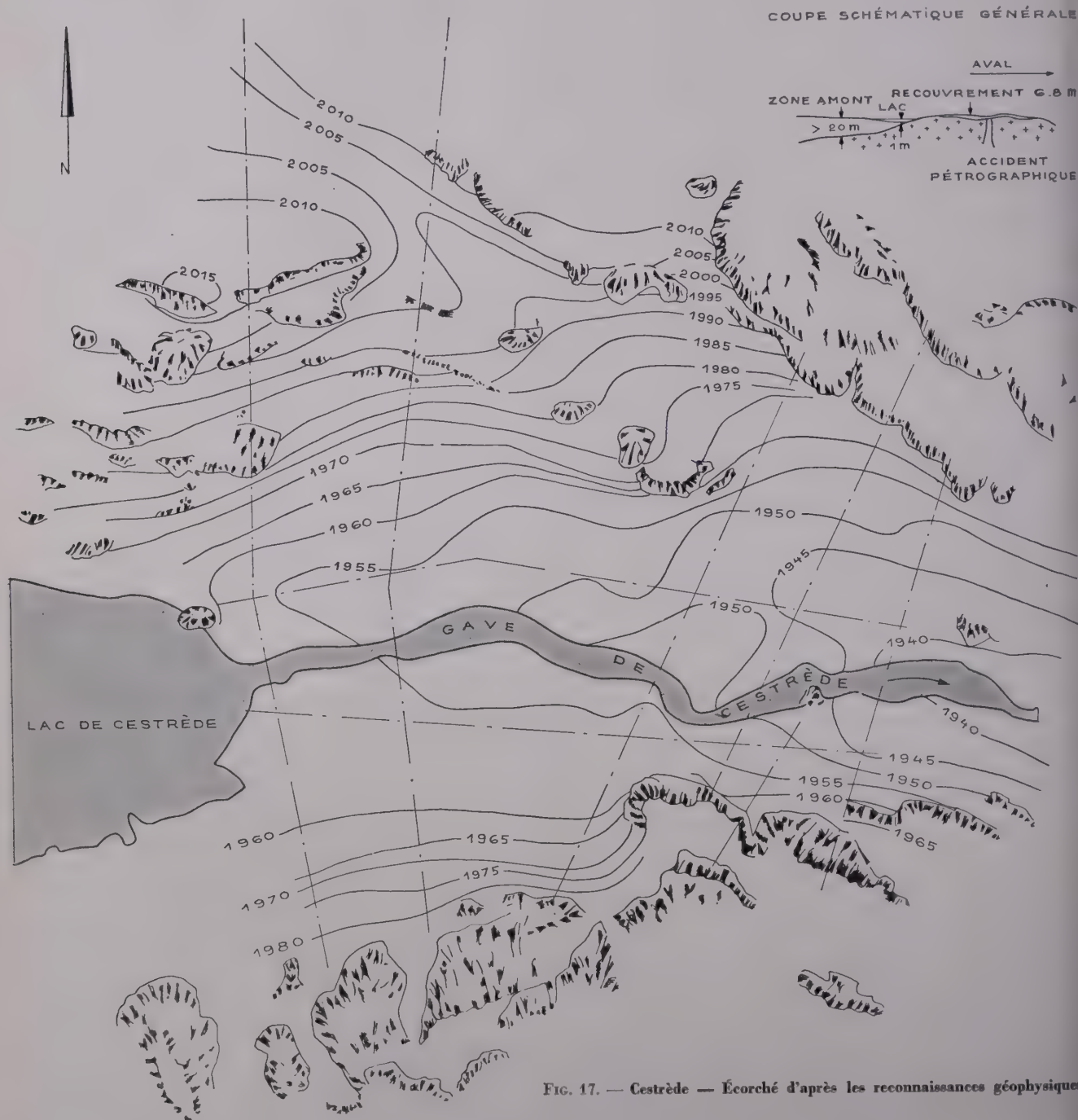
l'emplacement le plus favorable pour implanter une prise d'eau sous lacustre.

Lorsque la courbure des surfaces de contact et topographique est plus importante, les résultats sont moins

précis mais la géophysique peut tout de même donner des renseignements intéressants : par exemple on peut rechercher la profondeur de moraine ou d'éboulis qui encombrent le fond d'un ravin ou d'une vallée latérale : une grande précision n'est pas absolument indispensable dans ce cas car on peut, sans frais excessifs, prendre une marge de sécurité en enterrant un peu plus la galerie si c'est nécessaire.

Dans un projet de conduite forcée souterraine il est intéressant de connaître l'ordre de grandeur du module d'élasticité le long du tracé prévu : même si la conduite se trouve sous une croupe ; en général la sismique peut donner des renseignements satisfaisants.

Nous en arrivons ensuite aux problèmes plus difficiles pour lesquels la géophysique ne peut pas donner seule des



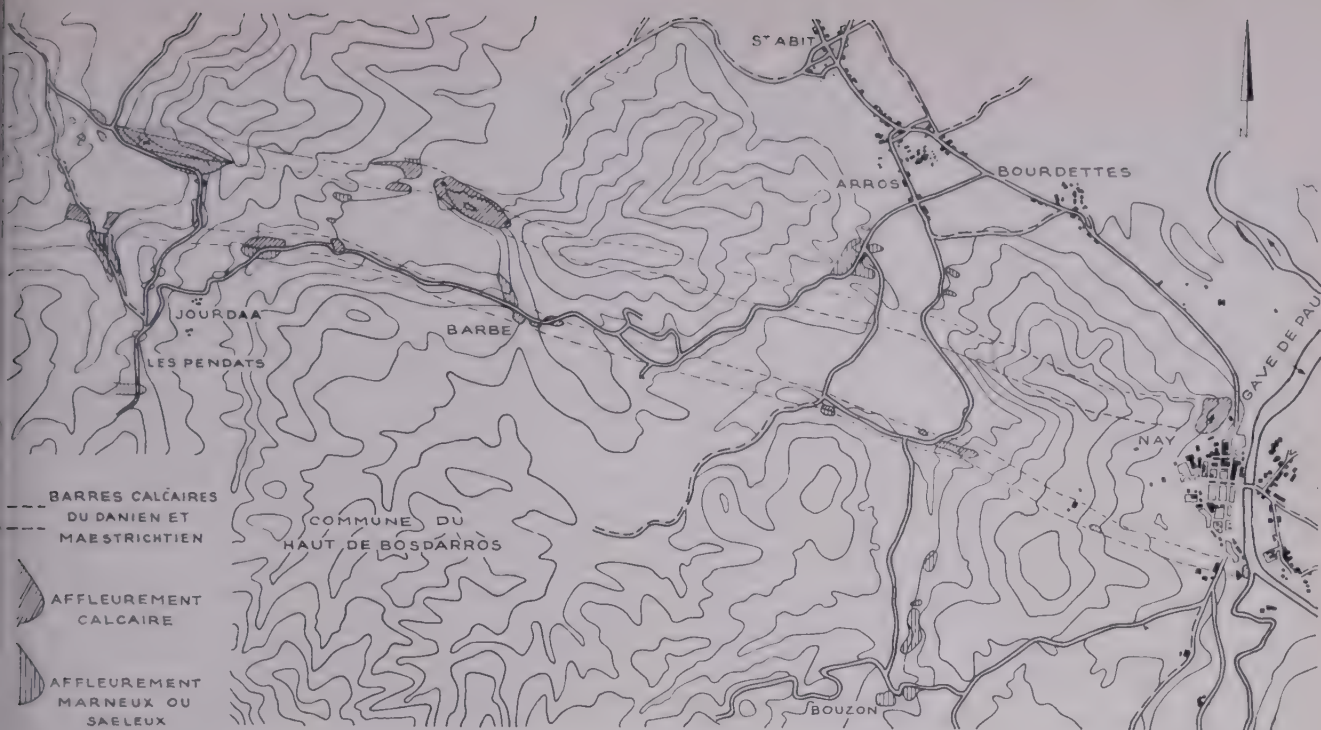


FIG. 18. — Exemple d'un levé géologique détaillé.

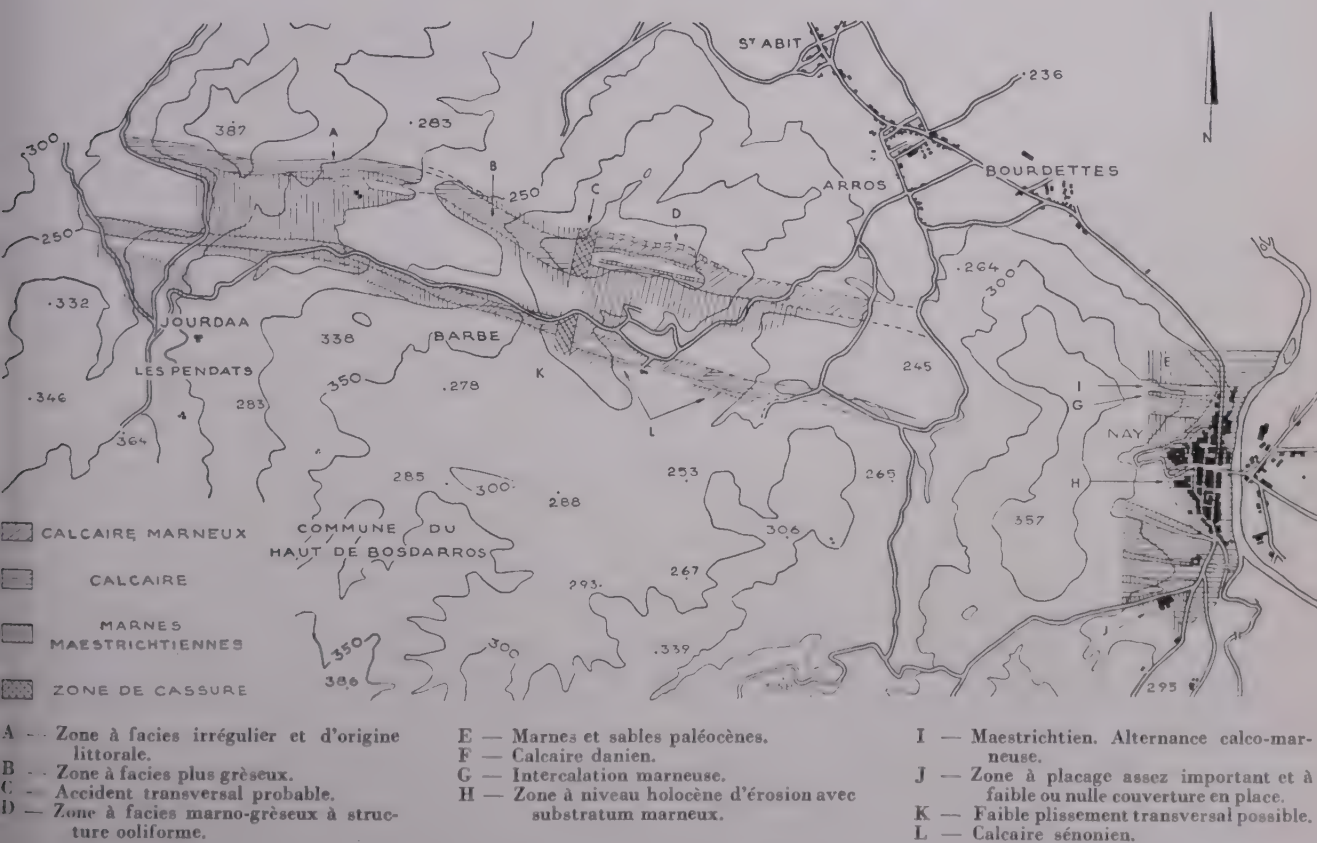


FIG. 19. — Levé de la figure 18 complété par géophysique.

valeurs assez précises pour élaborer le projet : l'exemple le plus parlant sera celui des fondations de barrage et c'est pourquoi je voudrais le développer un peu pour montrer ce qu'on peut demander à la géophysique et ce qu'il ne faut pas en attendre.

On pourra, notamment, rechercher les épaisseurs de couverture morainique ou alluviale si les rives sont assez régulières, on pourra aussi examiner jusqu'à quelle profondeur le rocher apparent est diaclasé, ce qui permettra d'évaluer le cube des fouilles et des déroctages.

Si la vallée est assez large, on pourra rechercher s'il existe sous les alluvions une gorge ou un lit épigénique : on arrivera en général à localiser cette gorge mais il est vain de demander à la géophysique d'en déterminer la profondeur. On comprendra facilement pourquoi, sur un schéma simplifié.

Supposons (fig. 20) une vallée rocheuse constituée par deux plans également inclinés sur l'horizontale et un thalweg triangulaire remblayé d'alluvions sur une hauteur h jusqu'au niveau AB : imaginons en outre que la vitesse de propagation V dans le rocher soit le double de celle v dans les alluvions. On fait une explosion en E et on dispose des sismographes dans un plan perpendiculaire à l'axe de la vallée en S_1, S_2, S_3 , etc...

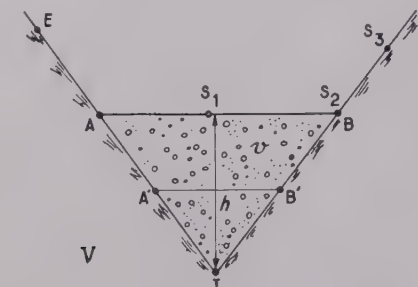


FIG. 20 a.

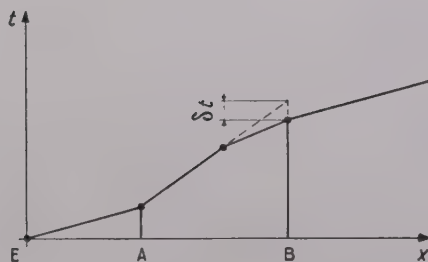


FIG. 20 b.

Si le trajet ATB parcouru par l'onde rapide dans le rocher est inférieur au double de AB, l'onde rapide parviendra au sismographe S_2 placé en B avant l'onde ayant parcouru les alluvions.

La dromochronique permet facilement de déterminer l'écart δt entre le temps d'arrivée des deux ondes et ainsi de connaître la longueur ATB.

Par contre lorsque ATB est supérieur à deux fois AB, la première onde qui arrive en B est toujours celle qui a traversé les alluvions. On ne peut plus connaître la longueur ATB.

Dans ce schéma simple, la profondeur maximum d'investigation est égale à :

$$AB \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Cette profondeur théorique varie évidemment avec les vitesses mais elle n'atteindrait le double de AB que si V était égal à $5v$.

Ce schéma est évidemment théorique, mais il fait bien sentir qu'on ne peut explorer une gorge profonde sans que les trajets les plus rapides ne la traversent à une profondeur inférieure à sa profondeur maximum (fig. 21).

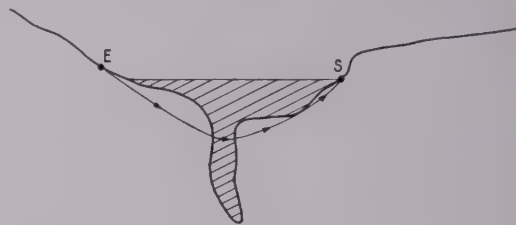


FIG. 21.

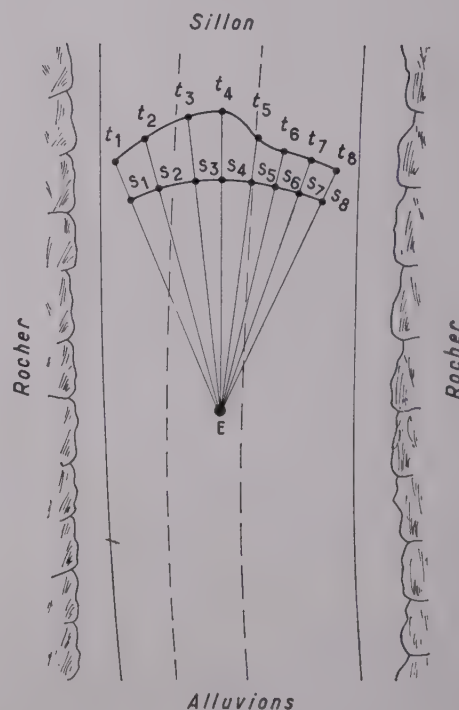


FIG. 22.

Il est facile de voir qu'une exploration longitudinale à l'axe de la vallée ne donnerait pas de meilleurs résultats, les trajets passant par les flancs et non par le fond de la gorge. La méthode par résistivité rencontre des difficultés aussi grandes, sinon plus.

Est-ce à dire que la géophysique perd tout intérêt dans ces circonstances, certainement pas : elle peut, dans bien des cas, indiquer s'il y a effectivement un sillon qui entaille le rocher sous les alluvions et préciser sa position. L'exploration de ce sillon n'est ensuite plus du domaine de la géophysique actuelle et seul le sondage

mécanique permet de dresser son profil. Une méthode qui peut être utilement employée pour la localisation de gorges est la sismique en éventail.

Supposons une vallée dont les rives soient rocheuses et le fond comblé d'alluvions (fig. 22).

Provoquons une explosion en un point E les sismographes étant disposés sur un secteur concentrique à E. Les temps de propagation seront d'autant plus longs que le rocher sera plus profond sous le sismographe. En portant en coordonnées polaires les temps de réception de chaque sismographe, on obtiendra une courbe où les bosses indiqueront un approfondissement du rocher. En variant les positions de l'explosion et des sismographes on peut arriver à une bonne localisation de la gorge.

Certaines formes de vallées peuvent d'ailleurs ne pas convenir à l'emploi de cette méthode.

La prospection résistive est souvent utilisée aussi : notamment l'emploi de techniques mettant en évidence l'anisotropie du sous-sol (Racom par exemple) peut permettre de situer une gorge lorsque la sismique n'est pas utilisable, par exemple à cause de la compacité des alluvions.

Un problème tout à fait analogue peut se rencontrer lorsqu'on cherche à suivre en profondeur un terrain résistant encadré entre deux terrains plus tendres, que le pendage soit vertical ou très redressé : comme dans le cas de la gorge, la profondeur d'investigation ne peut guère être supérieure à l'épaisseur du terrain résistant.

VI — CHOIX DE LA MÉTHODE

On pourrait se demander maintenant à laquelle des deux méthodes : sismique ou résistive il convient de faire appel de préférence. La réponse est naturellement que chacune a des avantages et des inconvénients, variables d'ailleurs suivant les circonstances, et que le choix ne peut être fait que sur chaque cas particulier.

D'un point de vue général on peut dire que la résistive est plus rapide, plus économique mais moins précise que la sismique.

L'infériorité de la résistive dans le domaine de la précision se manifeste d'abord parce qu'à chaque série de mesure on ne peut faire correspondre qu'une seule valeur pour la profondeur de chaque couche, alors qu'en sismique les résultats enregistrés sont le reflet de tout un profil : en faisant plusieurs tirs en divers points d'un même alignement et en laissant les sismographes fixes, on peut donner une bonne interprétation des reliefs du sous-sol. Une autre différence importante est la nécessité d'avoir recours à un schéma très rigide pour interpréter les mesures résistives : les strates doivent être planes et parallèles : la précision de la mesure qui est alors de l'ordre de 10 % diminue rapidement lorsqu'on s'écarte un tant soit peu de cette condition.

En sismique par contre l'interprétation reste valable dans les cas des couches obliques, à condition bien entendu

comme il a été dit ci-dessus, de procéder à plusieurs tirs sur chaque alignement.

A quoi est due cette infériorité ? A une cause physique qui est le fait que la résistivité apparente dépend, pour chaque distance des électrodes, de tout le sous-sol : de là il résulte que les courbes de résistivité n'ont pas de points anguleux mais des courbures plus ou moins prononcées.

Cette cause physique se transforme sur le plan mathématique par la difficulté d'une interprétation précise dès qu'on s'écarte du schéma des deux couches planes parallèles.

La méthode par résistivité sera surtout utile pour des reconnaissances assez vastes ne nécessitant pas une très grande précision, elle devra être employée aussi lorsque la sismique ne sera pas possible, par exemple lorsque la présence d'une couche très absorbante à faible profondeur empêche la transmission de l'onde élastique à des couches plus profondes ou encore lorsque la vitesse dans une couche inférieure est plus faible que dans la couche supérieure (nous avons vu en effet que dans cette hypothèse la sismique réfraction n'est plus utilisable), ou encore lorsque deux terrains différents ont des caractéristiques élastiques voisines et des résistivités différentes. De toutes façons, lorsqu'on fait une campagne d'exploration par résistivité, il est bon de faire préciser certains points par quelques profils sismiques.

VII — LA GÉOPHYSIQUE DANS LE PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

Je pense avec ce qui précède avoir suffisamment fait comprendre que la prospection géophysique n'est pas un instrument qui permet de connaître avec une haute précision la configuration du sous-sol, je voudrais maintenant indiquer pourquoi malgré ses défauts on peut y avoir recours et en tirer un intérêt certain. Le premier principe, à avoir présent à l'esprit, est que la prospection géophysique ne peut être un tout, mais qu'elle doit s'inscrire dans un programme de reconnaissance qui comprend obligatoirement au départ le lever géologique détaillé, d'une zone encadrant largement l'implantation des ouvrages et en dernier lieu les sondages mécaniques.

L'étude géologique détaillée est indispensable : en général la carte géologique au 1/80 000 renseigne très

suffisamment sur l'âge des terrains rencontrés dans la région : mais, pour l'ingénieur, l'âge des terrains n'a pas un grand intérêt, ce qui lui importe c'est de savoir si le rocher qu'il a des chances de rencontrer sera proche de la surface ou non, sain ou altéré, compact, diaclasé ou broyé, enfin si c'est un matériau solide ou tendre. Seule cette dernière incertitude peut être levée par l'étude des terrains du même étage dans les environs immédiats de la zone qui l'intéresse. Parfois dans l'étude des galeries souterraines par exemple, le tracé de la carte géologique sera trop imprécis pour qu'on puisse même situer exactement l'étage où seront exécutés les travaux. Il convient donc de reporter sur une très bonne carte topographique les affleurements visibles en les datant dans toute la mesure du possible.

La date n'ayant d'ailleurs d'intérêt que pour ordonner la superposition des couches de terrain.

Sur une telle carte subsiste obligatoirement des blancs : on peut souvent en combler une partie par des travaux d'exploration à très faible profondeur, à la pelle et à la pioche. Souvent ensuite une étude morphologique de la région permet de prévoir les accidents possibles et d'en supputer l'importance : par exemple l'examen des profils d'équilibre et des berges permet de prévoir la possibilité de lits épigéniques, ou bien la distribution des diaclases et des rejets fait croire à des accidents en profondeur. Mais le géologue, moins encore que le géophysicien n'a pas d'œil qui lui permette de voir à l'intérieur du terrain : il est donc amené à faire, à partir de ses observations de surface (ou presque de surface) des hypothèses sur la configuration profonde du terrain.

La stratigraphie, les pendages et la morphologie peuvent autoriser certaines dispositions mais souvent avec une incertitude ou, disons plutôt, une fourchette inacceptable pour le projeteur d'ouvrages de Génie civil.

Il faut alors choisir entre plusieurs hypothèses ou resserrer la fourchette; pour cela il est nécessaire de poursuivre les explorations en profondeur. La pelle et la pioche n'étant plus possible il semble qu'on doive avoir recours dans tous les cas au sondage carotté qui seul, théoriquement, donne une vision exacte et incomparable de l'état du terrain in situ.

Il se trouve malheureusement que le sondage carotté est un procédé en général onéreux, qui demande de l'énergie, de l'eau et des transports quelquefois compliqués dans des régions d'accès parfois difficile; ainsi, toujours dans les problèmes de Génie civil on a été conduit à une des alternatives suivantes : le problème est vraiment très mal connu par la géologie, et le risque à courir est trop gros par rapport à la réalisation projetée, dans ce cas on n'hésite pas à entreprendre une campagne de sondage qui coûtera une part non négligeable du montant des travaux : ou alors on estime la géologie suffisamment claire et le risque faible et alors on ne fait aucun sondage. Dans les deux cas je pense qu'on a tort : dans le premier cas, parce qu'on multiplie inconsidérément un travail de reconnaissance onéreux, là où une méthode plus économique aurait pu donner des renseignements suffisants, et dans le deuxième cas, car on n'a pas cherché à réduire la marge d'erreurs possibles et, partant, le coût des travaux. C'est là qu'on voit au fond le réel intérêt de la prospection géophysique : vérifier ou préciser à un prix abordable les hypothèses géologiques; si la méthode géophysique est imparfaite, si elle est imprécise, elle a par contre un mérite c'est qu'elle couvre rapidement une surface importante : ses renseignements n'ont pas une grande valeur ponctuellement mais ils traduisent par contre l'allure générale dans une surface étendue et quelquefois la marge d'incertitude du géologue est telle qu'une mesure géophysique presque seule permettrait de modifier complètement les hypothèses. Qu'on me permette à ce propos de citer deux exemples qui me paraissent particulièrement frappants.

Le premier est relatif à l'étude du passage d'une galerie sous une vallée où les dépôts morainiques abondaient. Une étude géologique détaillée n'avait relevé aucun affleurement rocheux dans une large zone située sur le tracé prévu : on pouvait craindre que la moraine ait une très forte épaisseur et que le percement de la galerie dans ce terrain meuble et probablement gorgé d'eau ne conduise à de grandes difficultés. Une campagne géophysique fut entreprise qui montra que les craintes n'étaient pas fondées et que l'épaisseur de la moraine restait faible; particulièrement en un point proche du

centre de cette zone il semblait que le rocher était tout près de la surface du sol. On décida de le vérifier en creusant à cet endroit une petite tranchée; en réalité ce travail ne fut même pas nécessaire, car le rocher affleurait; évidemment il fallait presque le savoir pour le voir; l'affleurement était constitué de quelques pointements de schistes qui s'alignaient parfaitement lorsqu'on les prenait en enfilade, et qui émergeaient à peine d'une prairie parsemée de blocs de granite provenant de la moraine. Sous une vision un peu oblique il était impossible de reconnaître là un affleurement. Pourtant si on l'avait vu au cours du lever de détail, la prospection géophysique n'aurait probablement pas été jugée nécessaire.

Le deuxième exemple est à peu près l'opposé du précédent et est relatif à une chute actuellement en cours d'exécution. Pour différentes raisons, le tracé de la conduite forcée était à peu près imposé et le projet initial prévoyait immédiatement à l'amont les ouvrages habituels : cheminée d'équilibre, chambre des vannes et extrémité de la galerie d'adduction.

Le terrain ne semblait pas poser le moindre problème : les pentes, assez fortes, faisaient présumer un rocher proche; on voyait de place en place des affleurements sains de ce rocher, qui était constitué par du calcschiste à pendage presque vertical et sensiblement parallèle à la direction de la vallée. En outre d'anciens travaux de percement qui avaient eu lieu 150 m à peu près au-dessus n'avaient pas présenté de grosses difficultés.

On commença le percement de la galerie au voisinage d'un affleurement et après avoir franchi quelques mètres où le rocher était sain, on rencontra un terrain constitué par le même rocher mais littéralement broyé, on recoupa des failles d'argile, puis des venues d'eau importantes. On pensa au début que cet incident était purement local et qu'on ne tarderait pas à rencontrer enfin le rocher sain, mais, au bout de 60 m, il fallut bien se rendre à l'évidence, tout le flanc de la montagne semblait broyé. Parallèlement, un sondage vertical implanté dans l'axe de la cheminée d'équilibre, dut être interrompu par suite des fuites qui ne permettaient pas de maintenir d'eau dans le forage. Devant le risque d'augmenter le coût des travaux, d'allonger les délais, et aussi de tarir les sources d'eau potable alimentant une agglomération importante, il devint nécessaire de revoir le projet. On fit alors une campagne de géophysique, qui montra très rapidement que l'altération du rocher se poursuivait profondément et qu'à la cote de la galerie on aurait eu 150 m environ à perforer avant d'arriver à un terrain convenable. On adopta finalement la solution de prolonger la conduite par une partie horizontale à l'extérieur jusqu'à ce qu'on trouve une partie plus dure permettant d'implanter les ouvrages et d'exécuter la galerie avec de bien moindres difficultés.

Dans cet exemple, par conséquent, la géologie ne semblait vraiment pas laisser entrevoir de difficultés et pourtant, une courte campagne de géophysique aurait permis d'économiser pas mal de temps et d'argent.

Une étude des terrains de fondation doit donc dans la majorité des cas être entreprise avec l'association étroite du géologue, du géophysicien et du sondeur.

Le géologue trace les grandes lignes du problème; le géophysicien procède à une étude de détail plus ou moins précise; le sondeur examine les points restés obscurs aux deux premières disciplines, précise certains résultats, vérifie les dires des uns et des autres. Il est bien souvent utile de pouvoir juger de la qualité d'un terrain en un point précis et cela, seule la vision directe des carottes retirées du forage peut la donner. Encore une fois, il ne

agit pas de retirer du travail aux sondeurs pour augmenter l'activité des géophysiciens, je crois que les uns et les autres ont leur utilité, mais je pense aussi qu'il est préférable de répartir le plus intelligemment possible

une certaine quantité de forages, plutôt que de les concentrer tous sur un point paraissant difficile *a priori*, et de laisser sans étude spéciale d'autres points parce qu'ils paraissent faciles.

VIII — CONDITIONS REQUISES POUR UN EMPLOI SATISFAISANT

La prospection géophysique semble donc présenter des avantages incontestables pour les travaux de Génie civil : rapidité, légèreté du matériel (fig. 23 et 24), possibilité d'une connaissance plus précise et plus complète des terrains.

Quelles sont donc les raisons qui ont fait que son usage est resté très limité dans ce domaine, alors que dans les autres, en particulier dans celui de la recherche des

minerais et surtout du pétrole, elle a atteint un développement considérable et je ne pense pas qu'à l'heure actuelle on puisse envisager de forer des puits d'exploration sans avoir procédé auparavant à une très complète campagne de géophysique.

Une première raison est, que dans le cas de la recherche du pétrole, le forage profond est très onéreux et constitue en lui-même le travail définitif lorsqu'il aboutit à une découverte; il y a donc intérêt à implanter le mieux possible le forage et pour cela toute méthode permettant de préciser la forme du substratum est extrêmement payante, et pourtant la proportion de puits d'exploration ayant abouti à une découverte est de l'ordre de 10 % en Amérique et de 5 % en France.

Dans le cas du Génie civil, par contre, presque toujours, à une profondeur modeste, les investigations par forages représentent seulement une proportion faible des dépenses totales à engager. La géophysique ne semble apporter à première vue qu'une économie minime sur les frais d'études des travaux de Génie civil (et encore n'est-il pas évident qu'elle en apporte toujours); l'économie substantielle qu'elle permet de réaliser presque toujours sur les travaux — en réduisant les aléas — est très difficilement chiffrable encore que je sois persuadé qu'elle puisse être très élevée dans certains cas. C'est, je crois, cette première raison, financière, qui fait que la géophysique ne s'est pas imposée aussi rapidement pour le Génie civil que pour le pétrole.

La deuxième raison que je vois est que bien des ingénieurs n'ont pas confiance dans la géophysique à la suite d'expériences malheureuses. Il n'est pas toujours facile de connaître exactement les causes de ces ratages, mais je pense qu'on peut les classer en deux : ceux qui sont imputables au géophysicien et ceux dont est responsable l'ingénieur qui a commandé la campagne géophysique. Côté géophysicien, j'éliminerai d'abord, car il reste je pense exceptionnel, le cas d'insuffisance notoire du personnel et du matériel. Par contre, ce qui est à l'origine de multiples déboires c'est que, bien souvent, le géophysicien a des idées préconçues sur ce qu'il doit trouver et il a tendance naturellement à essayer d'interpréter les résultats de mesure avec ce qu'il pense *a priori* du terrain.

J'ai vu le cas où, pour des raisons diverses, un géophysicien avait estimé que le rocher du substratum devait avoir une certaine résistivité et il avait arrêté les mesures en profondeur lorsqu'il trouvait cette résistivité. En réalité, on s'est aperçu après coup que le rocher était beaucoup plus bas qu'il ne le pensait et que par conséquent il ne l'avait jamais atteint, alors que la résistivité repère, qu'il avait prise pour celle du rocher, était seulement due à une variation de résistivité de la moraine de recouvrement.

Il est donc extrêmement important que le géophysicien travaille sans idée préconçue : il faut aussi qu'il contrôle ses premiers résultats. Les contrôles doivent être assez nombreux pour éliminer, si possible, au fur et à mesure, les erreurs d'interprétation. Il sera toujours intéressant de recouper une campagne électrique par quelques profils sismiques. Si des mesures paraissent indiquer que le



FIG. 23. — Matériel de prospection sismique.

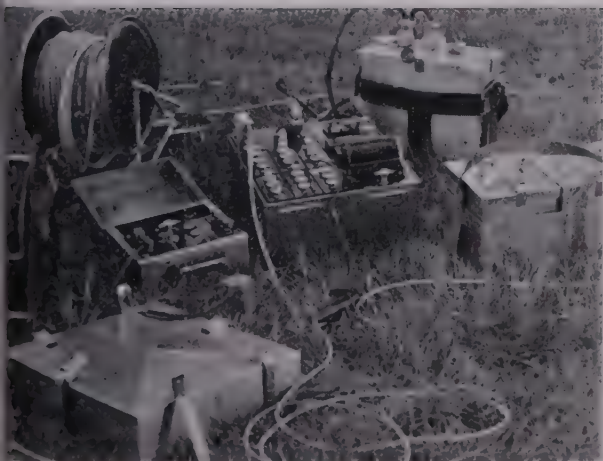


FIG. 24. — Matériel de prospection électrique.

rocher est très proche, il faudra le vérifier par des moyens mécaniques et surtout il sera indispensable de faire des étalonnages sur plusieurs affleurements du même terrain qu'on doit retrouver en profondeur.

Lorsque le sous-sol se présente de façon un peu compliquée il est toujours préférable que le géophysicien remette le résultat de ses mesures sous une forme qui permette au géologue de choisir lui-même l'interprétation : on peut présenter, par exemple, le résultat d'une campagne sous forme de profil ou de carte de résistivité (fig. 25 et 26). Il faudra évidemment que le géologue qui aura la tâche de transformer ces résultats en coupes ou cartes géologiques soit, d'une part, très informé de la géologie de la région et, d'autre part, bien au courant de l'emploi des méthodes géophysiques. C'est grâce à une collaboration très étroite du géologue et du géophysicien qu'on

pourra obtenir les résultats les plus précis et les plus fructueux.

Le géophysicien devra également avoir la plus grande franchise vis-à-vis du géologue et de l'ingénieur : il est très normal pour un ingénieur qui n'a pas l'expérience de ces choses, de penser que la géophysique peut dans tous les cas conduire à des résultats assez précis. Surtout qu'en toute bonne foi les géophysiciens ont souvent tendance à surestimer la précision de leurs méthodes d'investigation. On entend souvent dire, par exemple, que la précision des mesures de profondeur est de l'ordre de 10 %. En réalité, il ne faut pas perdre de vue que ces 10 % ne sont valables que pour des cas assez simples ; pour des cas un peu compliqués on peut admettre que la précision tombe à 50 % et enfin certains cas ne sont pas solubles par géophysique. Il faut dans ces conditions que le géophysicien attire lui-même l'attention de l'ingénieur

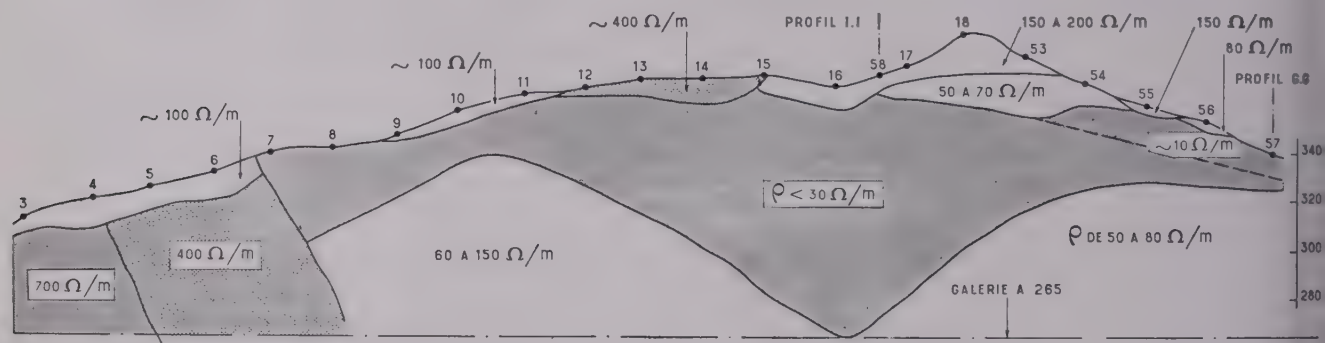


FIG. 25. — Exemple d'une coupe verticale des résistivités.

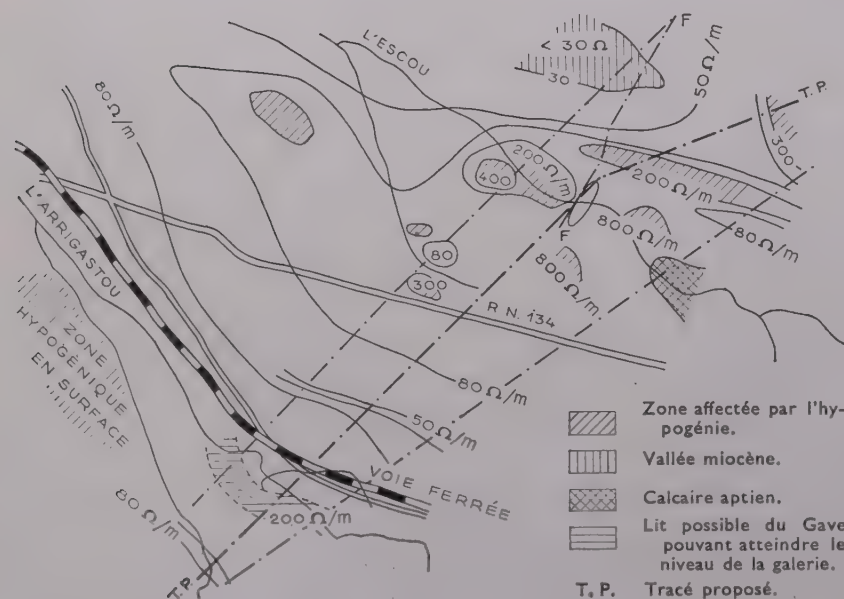


FIG. 26. — Exemple d'une carte des résistivités.

nier et du géologue, soit sur la marge d'incertitude, soit sur les différentes interprétations possibles et surtout qu'il n'ait aucune fausse honte à reconnaître les cas d'impossibilité d'emploi.

L'ingénieur est à mon sens responsable d'un échec lorsqu'il donne à exécuter un travail de géophysique sur une structure insuffisamment étudiée du point de vue géologique lorsqu'il impose le choix des méthodes, lorsqu'il demande de résoudre un problème insoluble par géophysique.

Voilà je crois les causes principales d'échecs, qui ont rebuté certains utilisateurs. Une meilleure compréhension des problèmes et une plus étroite collaboration entre les différentes disciplines permettront certainement de réduire à peu de choses les échecs et je crois qu'à ce moment-là ceux qui auront vraiment apprécié toutes les possibilités de la géophysique n'auront plus s'en passer.

IX — CONCLUSION

Il est inutile de citer tous les problèmes de fondation auxquels la géophysique peut s'appliquer. Je n'ai naturellement d'expérience qu'en matière de travaux hydro-électriques, mais il paraît évident qu'elle est susceptible de rendre des services dans des domaines très divers : routes, ponts, aérodromes, construction d'immeubles, recherche de carrières, etc. Je suis persuadé qu'il y a un champ d'activité considérable et que l'emploi plus fréquent de la géophysique dans l'étude des terrains de fondation pourrait conduire à des économies très sensibles sur le prix des travaux, notamment en éliminant une grande partie des difficultés rencontrées en cours d'exécution.

La géophysique n'est pas une panacée, c'est un instrument qui n'est peut-être pas très précis, mais c'est un procédé rapide, peu coûteux et ne nécessitant pas un matériel lourd. Si son application au Génie civil n'est pas encore parfaitement au point, cela est dû à ce que son emploi reste actuellement un peu exceptionnel : son intérêt ne se limite pas à l'étude des cas considérés *a priori* comme difficiles; les structures paraissant simples sont celles qui réservent souvent les surprises les plus désagréables.

Une juste compréhension des problèmes de Génie

civil par le géophysicien et des méthodes de géophysique par l'ingénieur permettrait un recours plus fréquent et plus fructueux à cette technique. Je crois que cela est souhaitable dans l'intérêt général.

Je voudrais pour terminer dire un mot d'un aspect un peu différent des méthodes géophysiques où l'emploi de celles-ci rejoint les préoccupations du laboratoire de chantier : il s'agit notamment de l'application des mesures de vitesse à la reconnaissance à très faible profondeur de l'état du rocher et au contrôle sur place des bétons exécutés. Dans le premier cas on peut rechercher, par exemple, jusqu'à quelle profondeur la roche a été disloquée par les travaux eux-mêmes pour établir un programme d'injections; on peut également profiter de ce que la vitesse de propagation donne une valeur approchée du module d'élasticité pour connaître celui du terrain en place : par exemple, après perforation la connaissance de ce module tout le long de la galerie peut aider à établir le projet de revêtement. Après exécution des travaux, on peut examiner si les injections ont bien consolidé le terrain comme on l'attendait; enfin, la mesure des vitesses dans le béton permet, compte tenu de son âge, de vérifier s'il a été correctement exécuté. Il y a là tout un domaine qui paraît susceptible de développements intéressants.

M. LE PRÉSIDENT. — Je serai certainement votre interprète en remerciant M. Plichon de l'intéressant exposé qu'il vient de faire.

Avant d'en tirer des conclusions, je serais heureux de passer la parole à ceux d'entre vous qui auraient des explications complémentaires à demander ou des objections à formuler.

DISCUSSION

M. VALLETTE. — M. PLICHON a parlé d'autres méthodes, gravimétriques ou magnétiques; est-ce qu'elles sont utilisables et utilisées?

M. PLICHON. — Pour le Génie civil, je ne le pense pas. Ce sont des méthodes qui sont exploitables à des échelles beaucoup plus grandes que celle des travaux du Génie civil en général.

M. VALLETTE. — Ne sont-elles pas assez sensibles pour déceler la densité des terrains?

M. PLICHON. — Elles sont sensibles à un volume énorme de terrains, et par conséquent on ne peut pas en déduire de prévisions à des profondeurs faibles; elles sont influencées par des terrains à des distances considérables.

M. VALLETTE. — En somme, ce n'est pas exploitable.

M. MAYER. — Je voudrais remercier également M. PLICHON de sa conférence, et lui dire ceci : il a indiqué très rapidement que la géophysique pouvait, en matière de Génie civil, rendre des services dans d'autres branches que la reconnaissance des

installations hydro-électriques; eh bien, j'ai personnellement eu l'occasion, avec la Compagnie Française de Géophysique, de faire au Maroc une étude du sous-sol, une étude du substratum dans une des régions considérées comme les plus sèches du Maroc et où l'on venait de construire un camp d'aviation. Le problème était d'alimenter en eau ce camp d'aviation. Grâce à une campagne géophysique, on est arrivé à implanter un certain nombre de forages qui ont assuré l'alimentation complète du terrain. Ceci a été considéré comme un très gros succès de la géophysique. Je voulais signaler ce cas à l'appui de ce qu'a dit M. PLICHON.

M. PLICHON. — Je n'ai pas parlé des questions de nappes phréatiques. A mon sens, ce n'est pas tout à fait du Génie civil, cela rejoint plutôt d'autres préoccupations, et notamment la recherche des minerais.

M. MAYER. — Je voulais simplement indiquer que j'avais personnellement connu un cas où l'on était arrivé à des résultats très intéressants, alors qu'on n'aurait rien obtenu si l'on n'avait pas su, grâce à une étude géophysique, où implanter les forages.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

La connaissance la plus approfondie possible du terrain est indispensable au projeteur hydraulicien, qu'il s'agisse d'une cuvette de réservoir, qu'il s'agisse d'un tracé de galerie, ou qu'il s'agisse d'une quelconque étude de terrain. L'étude géologique est un élément essentiel, mais cette étude conduit souvent à des hypothèses qu'il convient de vérifier; les méthodes géophysiques semblent de nature à répondre rapidement et à peu de frais à ces questions.

Nos camarades du pétrole les utilisent sous une forme et avec des objectifs différents et leur application au domaine hydro-électrique est un peu une innovation. M. Plichon les a essayées et conduites avec la prudence et l'objectivité indispensables.

Les méthodes et le matériel peuvent probablement être améliorés; l'interprétation des résultats restera délicate : elle ne peut se faire que dans le cadre d'une étude géologique approfondie; mais les premiers résultats sont là. L'expérience valait la peine d'être tentée, et nous saurons gré à M. Plichon de la part importante qu'il y a prise et dont il y a lieu de le féliciter.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOÛT 1956

Neuvième Année, N^{os} 103-104.

Série : AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR (10).

JOURNÉES-EXPOSITION DE LA PEINTURE

du 17 au 25 mars 1956

Conférences présentées sous le patronage de
L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

II

L'HUILE DE LIN DANS LE BATIMENT

par **M. J.-P. HELME**

Ingénieur-Docteur.

RÉSUMÉ

Examen rapide des divers facteurs qui influent sur la qualité des travaux dans le bâtiment et leurs défauts. Avant application : préparation de la peinture par le peintre, nature et préparation des subjectiles. Pendant application : influence de l'état de l'atmosphère ambiante. Énumération des défauts pouvant se développer pendant l'application et après l'application. Influence heureuse du vieillissement dans le temps d'une huile de lin.

SUMMARY

A rapid examination of the different factors influencing the qualities and faults in building work. Before application : preparation of the paint by the painter, nature and preparation of the surfaces. During application : influence of the state of the surrounding atmosphere. Enumeration of the faults likely to develop during and after application. Useful influence of the ageing of a linseed oil.

III

LES HUILES SICCATIVES USUELLES ET LE JAUNISSEMENT DES FILMS DE PEINTURE

par **M. M. FAUVE**

Ingénieur-Docteur.

RÉSUMÉ

Rappel succinct des causes de jaunissement des peintures à l'huile de lin. Influences diverses du fond, de l'application, de l'huile. Fabrication, qualités et utilisation de l'huile de ricin déshydratée. Celle-ci ou la standolie d'huile de ricin déshydratée permettent seules l'obtention de peintures blanches, satinées ou brillantes absolument non jaunissantes.

SUMMARY

Concise review of the causes of the yellowing of oil paints. Various influences of the base, the application and the oil. Manufacture, qualities and use of dehydrated castor oil. This, or the stand oil of dehydrated castor oil alone permit white paints, satiny or glossy, absolutely non-yellowing.

L'HUILE DE LIN DANS LE BATIMENT

par **M. J.-P. HELME,**

Directeur des Établissements Robbe (Usine de Dieppe).

INTRODUCTION

Il n'est pas dans nos intentions de présenter ici une communication sur la fabrication des huiles de lin, pas plus que sur leurs principales caractéristiques physico-chimiques.

Nous voulons seulement, en essayant de nous imprégner au maximum de l'esprit du métier de peintre, examiner l'incidence qu'aura l'huile de lin tout au long de l'exécution de ses travaux.

I. FACTEURS AVANT APPLICATION

A. Préparation de la peinture par le peintre.

a) Détrempe d'un blanc broyé.

Les blancs broyés peuvent, suivant qu'il s'agit de blanc pour extérieur ou pour intérieur, être plus ou moins chargés en oxyde de zinc, lithopone, titane et charges.

Examinons le cas classique de la détrempe d'un blanc pur ZnO.

Deux caractéristiques chimiques de l'huile de lin peuvent avoir une influence : l'indice d'acide et le pouvoir mouillant, — le pouvoir mouillant dépendant en partie, du reste, de l'indice d'acide.

Examinons tout d'abord l'indice d'acide.

Il a été montré que les acides gras d'une huile de lin réagissent sur les pigments basiques que sont les oxydes de zinc pour donner des savons de zinc.

La présence de savons de zinc exerce une influence prépondérante sur la viscosité de la peinture préparée. Nous avons montré par des essais de laboratoire, sur lesquels nous ne nous étendrons pas ici, que les réactions d'épaississement (acides gras + ZnO) et de réduction de viscosité (mouillage dû à ces mêmes savons de zinc) s'effectuent simultanément.

Nous avons fait au cours de nos essais, varier l'indice d'acide de l'huile de détrempe d'un blanc broyé ZnO pur de 0,47 à 8,50. Nous avons noté au bout de deux heures les viscosités en secondes Ford (coupe consistométrique NF T 30 — 014 décembre 1946).

I. A. de l'huile de détrempe.	0,47	1,50	2,50	4,50	6	8,50
Viscosité en secondes Ford.	17	21	22	23	27	30

Ainsi la viscosité est d'autant plus importante, au bout de deux heures, que l'indice d'acide est plus important.

En réalité, il faudrait suivre également l'évolution de la viscosité en fonction du temps. On obtiendrait des familles de courbe (en forme de cloche) présentant un maximum au bout de 24 heures, la viscosité définitive étant acquise au bout de 3 à 4 jours seulement.

Il y aurait lieu d'ajouter enfin que la texture du pigment est importante. Selon que ce dernier est préparé par voie directe ou indirecte, les impuretés et la finesse sont différentes.

Ceci nous amène à dire qu'avec la même huile de lin on peut avoir deux viscosités très différentes lors de la détrempe. Et l'on sait que la brossabilité dépend en partie de la viscosité.

Nous avons constaté qu'en détrempeant avec une huile d'indice d'acide 4,5 un blanc que nous appellerons n° 1, nous obtenions une viscosité Ford de 23, alors qu'avec la même huile mais avec un blanc ZnO que nous appellerons n° 2, la viscosité était de 60.

La « réactivité » des oxydes de zinc est donc différente selon leur procédé de fabrication et leur provenance.

Nous avons parlé précédemment de pouvoir mouillant de l'huile. Le pouvoir mouillant intéresse uniquement la phase liquide. Il représente la tendance d'un liquide à mouiller un solide. Il est, du reste, généralement admis que le pouvoir mouillant du liquide est plus important que la mouillabilité du solide.

Il n'est pas dans notre intention ici de développer les nombreuses études scientifiques qui ont trait au pouvoir mouillant. Nous sortirions du cadre que nous nous sommes tracés. L'aspect énergétique du phénomène de mouillage, les procédés d'étude du mouillage et de la dispersion, l'interprétation des résultats des mesures de tension d'adhérence (qui s'expriment en dynes/cm) sont du ressort de la science.

Signalons cependant qu'il semble exister une relation linéaire simple entre la tension d'adhérence et la prise d'huile. Cette détermination de la prise d'huile a été étudiée et mise au point par la Commission A « Généralités, Terminologie, Méthodes d'Essais » (Norme T. 30.022).

Nous n'avons pas été sans constater nous-mêmes que certains pigments « boivent » davantage d'huile que d'autres.

En ce qui concerne la détrempe de broyé pur ZnO, une huile à pouvoir mouillant convenable a l'avantage de donner immédiatement la viscosité « d'équilibre ».

S'il s'agit de la détrempe d'un blanc pur lithopone, et si l'huile de détrempe n'a pas un indice d'acide et un pouvoir mouillant convenables, existe le risque de thixotropie.

La thixotropie est un phénomène présenté par certains gels de devenir fluides lorsqu'on les secoue. Le changement est réversible. Après cessation d'une agitation mécanique (le fait de remuer), la rigidité originale est lentement restaurée.

Il s'agit là d'un phénomène que nous avons certainement tous constaté. Il est dû, en général, à quatre facteurs principaux :

- concentration et nature du pigment;
- degré de mouillage du pigment par le liant;
- présence de savons.
- présence d'humidité.

Nous avons déterminé expérimentalement, avec un blanc broyé lithopone, que si l'indice d'acide de l'huile est trop faible, la peinture préparée est nettement « thixotrope », — autrement dit, le mouillage est insuffisant.

(Nous avons fait également varier, au cours de nos essais systématiques, l'indice d'acide de l'huile de 0,47 à 8,50).

Avec 0,47 d'I. A., la peinture est nettement thixotrope. Il faut arriver à 2, 2,50 d'I. A. pour que le mouillage soit convenable.

En conclusion, un compromis est nécessaire pour l'indice d'acide de l'huile de détrempe. Si l'indice d'acide est trop faible, et si le blanc est chargé en lithopone, la peinture sera thixotrope, — autrement dit, elle risquera de demeurer en gel.

Si l'indice d'acide est trop élevé, et si le blanc est chargé en ZnO, risques de fort épaississement.

C'est l'affaire du fournisseur de déterminer pour le peintre cet I. A. optimum.

b) « Infusion » de pigments colorés.

Le peintre qui doit préparer des teintes dégradées (beige, vert ou bleu) met la plupart du temps des pigments à « infuser » dans l'huile. Ces pigments (ocres, verts, terres) sont généralement difficiles à mouiller.

Si l'huile mouille mal, ou si le temps « d'infusion » est insuffisant, à l'application peuvent apparaître des « fusées » dues à l'écrasement par la brosse des pigments mal dispersés.

c) Examen de l'influence de la couleur de l'huile.

C'est une réaction logique de penser qu'il devrait y avoir une relation directe entre la couleur origine d'une huile de lin et la tendance au jaunissement du film de la peinture préparée avec cette huile.

Autrement dit, une huile pâle, presque blanche, donnera-t-elle une peinture qui, à l'application, ne jaunira pas? ■

Nous reviendrons plus loin sur le jaunissement des peintures blanches, — M. Fauve va vous en parler également. Il ne dépend pas seulement de l'huile. Il dépend également des pigments, et surtout des fonds et des conditions d'application (obscurité et humidité en particulier).

Mais en ce qui concerne l'huile, de nombreux essais, aussi bien en laboratoire que sur chantier, nous ont montré que ce sont, en général, les huiles les plus décolorées qui jaunissent le plus ultérieurement; surtout en valeur relative.

L'opération de « terrage » pratiquée en général pour décolorer l'huile modifie, ou risque de modifier profondément, la nature chimique des constituants de cette dernière si elle est pratiquée avec excès.

En même temps qu'on enlève le pigment marron brun (carotène) et le pigment vert (chlorophylle) de l'huile, on transforme malencontreusement la molécule de cette dernière.

Autrement dit, point n'est besoin de partir d'une huile parfaitement décolorée pour obtenir d'excellentes peintures blanches et, par voie de conséquence, des mètres carrés de peinture qui demeureront blancs, — surtout si cette décoloration est obtenue avec des agents chimiques.

Il faut cependant ajouter qu'une décoloration minimum est indispensable pour l'enlèvement, en particulier, de la chlorophylle. La couleur Bombay nous paraît suffisante et convenable.

B. Nature et préparation des subjectiles.

Parmi les quatre subjectiles principaux du peintre qui sont :

- Plâtres et dérivés,
- Bois et dérivés,
- Métaux ferreux et non ferreux,
- Mortiers de ciment et dérivés,

nous examinerons rapidement le cas particulier du plâtre coupé dit « à la Parisienne ». Nous savons que la Commission technique de l'U. N. P. V. s'est émue récemment des accidents se produisant avec des plâtres retardés (borax et superphos-

phates); ce problème a, du reste, été traité lors d'une précédente conférence. La Commission s'est préoccupée, en particulier, d'organiser un « service qui renseignerait les applicateurs sur la possibilité ou non de commencer les travaux de peinture sur plâtre, d'une part par prise, au moyen d'appareils électriques de mesures du degré d'hygrométrie, d'autre part, par prise du degré d'alcalinité ou d'acidité des plâtres ». Peut-être faudrait-il ajouter également une estimation de la dureté du plâtre (cas des plâtres morts par exemple).

Un plâtre normal doit avoir un pH voisin de 7. Les plâtres à réaction alcaline (soit par addition de retardateurs de prise, (borax en particulier), soit par la nature même des calcaires) saponifient l'huile des enduits et des sous-couches : d'où graves décollements.

Depuis quelques années également, on signale sur les chantiers des plâtres morts, — conséquence d'un excès d'eau au gachage.

Sur de tels plâtres, l'enduit « roule » par manque d'adhérence.

Il est donc un point sur lequel il convient d'insister et d'insister fortement. Le peintre est le dernier à travailler dans un bâtiment. Il peut hériter et il héritera de toutes les tares qui sont susceptibles d'apparaître.

Même si l'enduit de plâtre est suffisamment sec, dur et neutre, — trois conditions que nous estimons indispensables pour l'exécution d'un travail réalisé dans les meilleures conditions, — les matériaux eux-mêmes (briques, béton et agglomérés par exemple) peuvent manifester leur existence.

C'est ainsi que des sels solubles, pouvant se trouver dans certains sables de mer, peuvent se manifester par des efflorescences, les sels allant vers la surface.

II. FACTEURS PENDANT L'APPLICATION

Pendant l'application, la température, l'humidité et l'ensoleillement auront une influence prépondérante. Ces facteurs ne sont pas les seuls, mais sans doute les principaux.

Lorsqu'on peint par temps froid, existent toujours les risques de mauvais séchage et de poissage.

Si, d'autre part, une condensation suit une baisse marquée de la température, la vie du film de peinture sera réduite (cloquages — craquelures — jaunissement).

L'exposition aux ultra-violets pendant le séchage, en augmentant inégalement les températures de la peinture et du support, peut provoquer des craquelures.

Enfin, l'exposition d'un film (surtout s'il n'est pas complètement sec) dans une atmosphère industrielle contaminée par des émanations de gaz acides ou alcalins peut être catastrophique.

— Les atmosphères contenant de l'acide sulfurique (oxydation de gaz sulfureux) peuvent même attaquer les films de peinture contenant des pourcentages convenables d'oxyde de zinc.

Il se forme du sulfate de zinc soluble dans l'eau, et ce composé est délavé par la pluie.

— Les gaz contenant de l'hydrogène sulfuré peuvent réagir sur des oxydes de zinc contenant des sels de plomb pour donner des sulfures noirs.

— Nous avons constaté qu'une atmosphère ammoniacale favorisait le jaunissement des peintures blanches dans des proportions considérables.

Le choix des pigments sera, en général, prépondérant.

III. CONSÉQUENCES DES FACTEURS I ET II

A. Défauts pouvant se développer pendant l'application.

Il est bien entendu que nous ne citons là que les cas les plus généraux. Cette liste de défauts que nous avons eu l'occasion de constater n'est pas limitative, — pas plus du reste que les causes qui les font naître. Enfin, dans l'examen de ces derniers, nous n'avons pas voulu entrer dans le détail d'un métier qui n'est pas le nôtre. C'est une chose de fabriquer une matière première convenable, c'en est une autre de l'utiliser ou de savoir l'utiliser.

Durée excessive du séchage. — (Collant, poissage).

1. Mauvaise siccatisation : pas assez ou trop de siccatif.
2. Le film est trop épais. On ne pourra pas obtenir un séchage normal, et les couches les plus profondes sècheront trop lentement à cause du manque de pénétration suffisante de l'air.
3. Couche précédente insuffisamment sèche, d'où conséquence : quand on redouble une peinture insuffisamment sèche en profondeur, risques de parties « moirées ». Ce défaut se rapproche de l'embus au point de vue de l'aspect. L'embus est dû à un fond mal préparé qui absorbe inégalement.

4. Préparation du support insuffisante (produits chimiques pouvant rester dans les subjectiles).

5. La pluie, le brouillard et la gelée provoquent un séchage défectueux.

Il est particulièrement essentiel de s'assurer que le film es appliqué sur un support parfaitement libéré de toute humidité.

Un fort degré d'humidité de l'air peut également retarder considérablement le processus de séchage.

6. Aération insuffisante.
7. La peinture a été stockée durant un temps prolongé avant d'être utilisée (peintures préparées).

Certains pigments (noirs de carbone, bleus de Prusse, certains oxydes de fer, des verts de chrome, certains ocres) absorbent les siccatifs et retardent ainsi le séchage.

8. Présence de mucilages dans l'huile de lin. (Les phospholipides sont anti-siccatifs).

9. Présence dans toutes les huiles de lin d'anti-oxygène naturels (tocopherol). Leur élimination améliore le séchage en profondeur des peintures.

Coulure, festons.

1. Mauvaise application.
2. Dilution excessive au moyen de solvants à évaporation trop rapide.
3. Pourcentage d'huile trop élevé.

Frisage — Cission du film.

1. La cission est d'une façon générale causée par un mauvais mouillage, — par exemple, si le revêtement liquide forme un angle de contact élevé par rapport à la surface. En conséquence le revêtement a tendance à se rétracter en gouttes au lieu de former un film homogène.

On dit quelquefois que la peinture de sous-couche a « graissé ».

2. Des surfaces lisses peuvent provoquer la cission due à l'existence d'une forte tension interfaciale entre le nouveau film et la surface. Intérêt de poncer les fonds brillants pour permettre l'accrochage.

3. Mauvaise application : on a couché gras sur gras et l'adhérence est mauvaise.

Cordage. (Apparition des traces de brosse).

1. La contamination par l'eau des peintures à l'huile augmente leur viscosité par suite d'une agglomération des particules de pigment à l'interface huile-eau. Ceci gêne l'étendage. Il se forme des émulsions eau dans l'huile accompagnées d'une floculation de pigment.

2. Pas assez d'huile par rapport au pigment. Huile de mauvais pouvoir mouillant.

Apparition de « fusées ».

1. Certains pigments poudre sont difficiles à mouiller. Si le temps « d'infusion » est insuffisant, ou si le pouvoir mouillant de l'huile est trop faible, les grains peuvent s'écraser à la brosse, — et peuvent apparaître des « fusées ».

2. Il est conseillé d'utiliser des huiles à pouvoir mouillant élevé avec des pigments réputés de mouillabilité mauvaise.

B. Défauts pouvant se développer après l'application.

Perte de brillant — Différence de brillant des revêtements — Embus.

1. Support trop absorbant ou inégalement absorbant (embus).
2. Durcissement à cœur insuffisant de la couche précédente.
3. Excès de solvant.
4. Trop forte addition de pigment. (Rapport $\frac{\text{Pigment}}{\text{Liant}}$ trop élevé).

5. Condensation d'humidité en surface avant que le film soit sec à cœur.

Farinage.

1. Le « farinage » fait suite à la perte de brillant causée par l'action des intempéries. La raison du farinage est un « flétrissement » superficiel du liant causé par une action simultanée de la lumière et de l'oxygène, et le délavage par la pluie de la fine couche du film ayant subi l'action des intempéries, et l'efflorescence des particules de pigments solubles dans l'eau qui demeurent à la surface du film sous forme d'une fine poussière.

2. Certains pigments blancs et certaines charges peuvent fariner à l'extérieur. Importance des ultra-violet.

3. Importance de la qualité de l'huile. Eviter de diluer l'excès.

Ridage et crapautage.

1. La couche externe du film sèche plus vite et a une expansion plus grande que la couche inférieure. (Éliminer les huiles de lin trop réactives : indice d'iode trop élevé).

2. Application trop épaisse de peintures riches en huile.

3. Addition excessive de siccatifs à base de cobalt (ce dernier augmentant le séchage en surface).

Cloquage — Craquelures.

1. Introduction de produits volatils (air — humidité) dans des films excessivement épais.

Le film de peinture devrait être assez perméable pour permettre à la vapeur d'eau de s'échapper (influence donc des rayons directs du soleil sur la formation de la vapeur d'eau à partir de l'humidité emprisonnée).

Si le film ne l'est pas assez, la pression du gaz (air ou vapeur d'eau) risque d'occasionner des cloques entre le support et le film de peinture. Plus la couche du film sera épaisse, plus elle sera sujette à la formation de cloques.

Phénomène de cloquage sur un plâtre humide.

2. Application prématurée des couches ultérieures. Mauvaise adhérence.

3. Craquelures par suite de variations importantes de température d'où il peut résulter des tensions importantes entre film et support.

4. Une impression trop longue en huile sous une couche de finition courte en huile provoque presque toujours la formation de craquelures dans la couche.

Jaunissement.

Le jaunissement des peintures est imputable à divers facteurs.

Nous avons fait une étude systématique sur la question et elle a fait l'objet d'une communication au Congrès International de la F. A. T. I. P. E. C. en 1955. Nous en tirerons très rapidement les conclusions pratiques qui suivent :

— Les pigments à pH alcalin sont ceux qui présentent la tendance au jaunissement la plus importante. Parmi ceux-ci, certains lithopones ont un pH de 9,50. Les plâtres à réaction basique sont très dangereux pour le jaunissement ultérieur des peintures blanches.

— Parmi les conditions d'application, la température et l'humidité sont prépondérantes.

Une température de l'ordre de 30°C et une humidité importante (de l'ordre de 90 %) accélèrent le jaunissement.

Un temps sec et froid est favorable car le jaunissement sera faible ; un temps chaud et humide est défavorable.

La condensation sur les murs est certainement, avec l'obscurité, l'ennemi n° 1 du peintre.

Nous signalerons l'exemple typique d'un chantier dans une clinique. Peinture blanche dans une chambre surchauffée. La pièce est fermée, les volets sont clos. Pas ou peu d'aération. Pendant la nuit, condensation sur les murs à l'intérieur, la température extérieure ayant notablement baissé. Impossibilité de redoubler, même le surlendemain. Au bout de huit jours, le blanc était devenu presque jaune.

Ce cas est évidemment excessif, mais il situe bien les conditions extrêmes.

— La nature des radiations électro-magnétiques du spectre solaire.

Nous avons constaté qu'en éclairant un panneau blanc en lumière rouge, il jaunissait davantage qu'en lumière bleue.

A signaler également que la suppression de toutes les radiations (obscurité) accélère le jaunissement, (l'exemple typique

est le jaunissement derrière un tableau ou un meuble). Les radiations ultra-violettes peuvent, dans certains cas, supprimer ces ennuis en détruisant les groupes chromophores jaunes qui ont pris naissance.

En d'autres termes, une exposition au soleil remet bien souvent tout en ordre.

— Enfin, l'huile de lin offre, de par sa composition chimique, une possibilité de jaunissement.

Nous avons constaté que la suppression de certaines substances de l'huile améliorerait très nettement la résistance au jaunissement de cette dernière. Il s'agit, en particulier, des mucilages et des anti-oxygène naturels de l'huile.

Siccativité et résistance au jaunissement sont interdépendantes l'une de l'autre.

— Nous rappellerons là encore que ce ne sont pas les huiles les plus claires qui donneront les peintures qui jaunissent le moins.

CONCLUSIONS

Une huile de lin se juge davantage par ses performances que par ses indices physico-chimiques. Ces derniers, de plus, sont dépassés, et de toute façon sont du domaine du chimiste.

La récapitulation logique de tous les facteurs qui peuvent aider ou gêner le peintre avant, pendant et après l'application nous amène à indiquer pour l'huile de lin quatre qualités principales qui auront une répercussion considérable sur la qualité des travaux :

- Pouvoir mouillant.
- Siccativité (à cœur principalement).
- Résistance au jaunissement.
- Résistance aux intempéries.

Nous avons constaté, il y a plusieurs années, qu'en laissant vieillir de longs mois une huile parfaitement démucilaginée, on améliorerait considérablement à la fois, le pouvoir mouillant, la siccativité, la résistance au jaunissement et aux intempéries.

Des méthodes physico-chimiques bien spécialisées (chromatographie — spectrophotométrie — polarographie) nous ont permis de connaître à peu près quelles étaient les transformations chimiques que le temps faisait subir à l'huile de lin pour la bonifier ainsi.

Nous en avons conclu que le meilleur raffinage à faire subir à une huile de lin utilisée en l'état était celui qui contre-typerait au maximum le vieillissement naturel.

DISCUSSION

M. LONCO. — Pourrait-on établir des critères de siccité des plâtres pouvant être employés pour fixer le commencement des travaux de peinture, en accord avec Messieurs les Architectes ?

M. HELME. — Nous pensons effectivement qu'un entrepreneur de peinture ne peut exécuter un travail sur plâtre dans des conditions convenables que si ce dernier est suffisamment sec, dur, et si son pH est convenable. Nous savons du reste que la Commission technique de l'U.N.P.V. a pris votre défense à ce sujet. La question de la qualité des plâtres a fait l'objet d'une communication de M. PINAULT, Ingénieur aux *Établissements Poliet et Chausson*. Messieurs les Architectes ne sont du reste pas sans ignorer vos difficultés.

M. MONIER. — Existe-t-il un procédé simple pour reconnaître les plâtres retardés avant l'application de la peinture ?

M. HELME. — Nous ne connaissons pas de procédé simple et rapide pour reconnaître si un plâtre est retardé ou non. En général, les retardateurs de prise ont un pH légèrement alcalin. Le plâtre ayant un pH de 7, toute mesure du pH supérieure à ce chiffre devrait indiquer une certaine alcalinité. Malheureusement l'utili-

sation d'un pH mètre ou d'un papier pH risque d'être illusoire, la mesure même du pH impliquant une mise en solution des sels solubles. On ne mesure pas, à notre connaissance, le pH d'une poudre ou d'un solide. On mesure celui de sa solution, une « ionisation » des sels étant indispensable. Nous pensons que seul un prélèvement de plâtre, effectué dans de bonnes conditions et remis à un laboratoire spécialisé d'analyses minérales, peut permettre d'indiquer la présence de retardateurs de plâtre. Et encore l'analyse sera délicate à cause même des faibles quantités ajoutées.

M. RUVIRA. — Est-il opportun ou non d'employer des huiles de lin décolorées risquant de jaunir ?

M. HELME. — Lorsque les huiles de lin sont décolorées, soit avec des agents chimiques, soit avec un trop grand excès de terres décolorantes, la structure même de la molécule des acides gras de l'huile est altérée. Le plus important est d'éliminer le pigment vert appelé chlorophylle. En général une décoloration légère est suffisante pour enlever la majorité du pigment vert. Une altération de la structure de l'huile se traduit souvent par une accélération du jaunissement.

LES HUILES SICCATIVES USUELLES ET LE JAUNISSEMENT DES FILMS DE PEINTURE

par **M. M. FAUVE.**

Ingénieur-Docteur à la Société Nourylande.

Le jaunissement des peintures, surtout des peintures blanches ou de teintes pâles est un des plus gros ennui que rencontre l'applicateur.

Vous venez d'entendre les conséquences des diverses influences sur le résultat de la mise en peinture; nous vous rappellerons simplement pour mémoire les facteurs d'influence suivants :

Influence des fonds.

Le fond neuf, qu'il soit de plâtre : sec ou frais, lissé ou coupé, avec ou sans retardateurs de prise, avec ou sans produits durcissants ;

qu'il soit de bois : plus ou moins vert, plus ou moins résineux, plus ou moins étuvé, passé ou maillé ;

qu'il soit de métal : ferreux plus ou moins oxydé, plus ou moins calaminé, plus ou moins gras, non ferreux plus ou moins poli, plus ou moins souillé ;

qu'il soit de pierre : plus ou moins alcalin, plus ou moins frais.

Le fond usagé a besoin de lessivage, de rebouchage.

Influence de la préparation des surfaces.

Couche d'impression, enduit.

Influence de l'application.

Température, humidité, couche précédente (séchage).
Appareils : brosses, rouleaux, machines.

Influence des conditions de séchage.

Température, humidité, ensoleillement, pollution de l'atmosphère.

Nous ne parlerons pas de l'influence : des pigments, des diluants ou solvants ni de celle de la formulation et des siccatifs.

Rappelons simplement qu'une peinture préparée par un fabricant n'admet pas d'être modifiée et qu'il est absolument contre indiqué d'ajouter un liant ou un diluant autre que celui présent dans la peinture.

Parfois on ajoute des pigments en poudre pour parfaire une mise à la teinte, c'est une pratique à proscrire absolument puisqu'on ajoute des grains mal mouillés à une peinture absolument homogène et sans grains.

Quant aux siccatifs, on a toujours tendance à en faire un emploi abusif et dans ce cas on retarde le séchage, tout en colorant le film de peinture.

Nous ne nous occuperons donc pas ici des changements de teintes ou du jaunissement dus aux influences que nous venons d'énumérer.

Nous supposons :

que dans tous les cas les fonds, neufs ou usagés, ont été parfaitement préparés ;

que l'application est sans reproches ;

que les conditions de séchage des films de peinture ont été absolument correctes ;

que les pigments, diluants, solvants et siccatifs ont été judicieusement choisis ;

que la formulation a été bien étudiée.

Les deux constituants essentiels de la peinture sont d'une part les pigments, d'autre part le liant.

Nous ne parlerons pas des liants « mineurs » c'est-à-dire les huiles de poisson ou de résine, du tallol ou des produits pétrolifères, mais spécialement du liant le plus ancien : l'huile de lin et des liants nobles : huiles de lin transformées, huile de ricin déshydratée « Synouryn ».

Nous débuterons dans ce sujet en empruntant ces quelques lignes à M. Petit, Directeur du *Laboratoire de Recherche des Peintures & Vernis*.

« Il est bien connu de tous que les peintures à l'huile jaunissent, le phénomène étant plus visible sur les peintures blanches et principalement aux endroits les moins exposés à la lumière.

Malgré les palliatifs utilisés, que chacun croit souverains, le phénomène est systématique et engendre souvent des réclamations injustifiées de la part de l'utilisateur et de l'appliquateur... »

L'apparition de la couleur, dans le cas de l'huile de lin, ne peut être due qu'à la formation de groupements oxygénés, que les chimistes appellent « groupements cétoniques ».

Les cétones se forment essentiellement au dépend de l'acide triénique, appelé acide *Linolénique*. L'huile de lin peut en renfermer de 45 à 63 %.

La teneur en acide linolénique de l'huile est en rapport étroit avec l'origine des graines, les conditions climatiques de culture et de récolte, la nature du sol, les engrais et les amendements utilisés.

Plus une huile contient d'acide *Linolénique*, plus elle pourra former de cétones insaturées « jaunes » et par conséquent plus la peinture aura tendance au jaunissement.

On voit de suite l'influence considérable de la composition centésimale de l'huile de lin en ses divers acides gras, aussi les Huileries modernes ont-elles mis au point les méthodes analytiques pour déterminer les valeurs de cette composition.

On effectue ces dosages à l'aide d'une méthode physique d'absorption dans l'ultraviolet, en utilisant un appareil appelé spectrophotomètre.

Les mesures délicates et minutieuses obtenues avec cet appareil permettent de donner le pourcentage d'acide triénique « linolénique » contenu dans l'huile examinée.

Le spectrophotomètre a donc permis d'établir une relation entre le jaunissement et la teneur en acide linolénique.

A côté de l'origine des graines, les matières étrangères contenues dans l'huile ont également une importance très grande :

Les mucilages, phosphoaminolipides, susceptibles de se gonfler à l'eau, modifient profondément le film de peinture, en retardent le séchage et favorisent le jaunissement.

Les matières colorantes sont constituées surtout par :

le carotène, bien connu dans la carotte et la chlorophylle dont on a fait une publicité tapageuse ces dernières années.

Ces produits colorés, surtout pour la chlorophylle verte, se retrouvent dans le film de peinture avec leur nuance propre. On les trouve en abondance dans les huiles provenant de graines insuffisamment mûres et dans les graines de « teillage ». L'extraction totale de ces matières est assez difficile et c'est pourquoi on trouve encore dans le commerce des huiles brun verdâtre qui contiennent de la chlorophylle et donneront des films verdissants.

Certains pigments colorés sont combinés à des cires et à des acides phosphatidiques : on ne peut éliminer ces cires et ces acides qu'en retirant ces combinaisons colorées. On en conclut que : toute huile colorée n'est pas décolorée et peut, en plus, contenir des acides phosphatidiques.

Il est indispensable, pour éviter ou diminuer le jaunissement, d'éliminer des huiles tous ces produits indésirables, tels que les mucilages, les pigments, etc...

Le raffinage est le procédé utilisé pour retirer de l'huile toutes les matières solubles ou combinées. Il ne faut pas que le raffinage soit brutal, sinon l'huile maltraitée donnera des mécomptes à l'utilisation.

L'acide sulfurique si employé autrefois n'est plus utilisé que pour le traitement des résidus ; il en est de même pour les oxydants :

Le peroxyde de benzoyle si cher à nos pères est presque totalement abandonné.

Le chlorite utilisé parfois pour le raffinage des huiles comestibles, ne doit pas être utilisé ici à cause de la réactivité de l'huile de lin sur laquelle on risque de fixer des atomes de chlore. D'ailleurs avec le procédé au chlorite on n'élimine que peu la chlorophylle et il est nécessaire de terminer par un « terrage » (traitement à terre adsorbante) pour retirer ce pigment vert.

Un bon raffinage comprend quatre points essentiels :

- Démucilagination ;
- Désacidification ;
- Décoloration ;
- Extraction des cires.

Nous ne nous étendrons pas sur ce sujet que toutes les grandes Huileries pratiquent efficacement, mais il ne faut pas oublier qu'après un raffinage parfait de deux huiles provenant de graines d'origines différentes, celle qui, dans les mêmes conditions, donnera le film le plus coloré, sera celle dont l'indice d'iode est le plus élevé.

Une première transformation consiste à stocker l'huile plus ou moins raffinée dans de grands bacs pendant un temps très long (parfois plusieurs années).

Certains produits flocculent et se déposent au fond des bacs tandis qu'il se produit un épaissement de l'huile. Après décantation ces huiles sèchent plus vite et l'on dit qu'elles sont « plus grasses ». En réalité elles ont subi une oxydopolymérisation avec destruction des matières colorantes et précipitation des phosphoaminolipides. Ces huiles conservées plusieurs années dans un flacon de verre pourraient devenir totalement solides par transformation en linoxyne.

Les huiles dites vieilles de cuve se sont donc partiellement autoraffinées et autotransformées, elles ont des qualités supérieures aux huiles brutes.

Il était normal, plutôt que de créer l'immobilisation de stocks importants d'huile, de vieillir l'huile artificiellement et les Huileries de lin mettent à présent à la disposition des peintres, des huiles prévieillies qui conviennent bien pour les peintures courantes ; ces huiles jaunissent d'ailleurs moins que les huiles dont elles proviennent.

Une seconde transformation consiste à traiter l'huile de lin raffinée avec certains réactifs dans le but d'améliorer certaines de ses qualités. C'est ainsi qu'en utilisant le styrène ou l'acide maléique on obtient des huiles dites « Styrenées », « Maleinisées » qui sont très intéressantes soit par l'augmentation de leur vitesse de séchage (maléinisées), soit par l'augmentation de leur résistance aux divers agents atmosphériques (styrénées).

On peut aussi remplacer une partie de la glycérine (un corps gras résulte de la combinaison de trois molécules d'acides gras avec une molécule de glycérine) qui est un trialcool, par un polyalcool tels que la pentaérythrite, le sorbitol, etc...

Les produits obtenus donnent des peintures à séchage plus rapide, de plus grande dureté et de meilleure résistance.

Malheureusement toutes ces transformations sont d'un prix de revient assez élevé aussi sont-elles réservées à des produits spéciaux de revêtements.

Une autre transformation, datant de plusieurs siècles consiste à traiter l'huile de lin par la chaleur. À la température de 280 à 300° C l'huile de lin s'épaissit et ce phénomène a été appelé polymérisation, puisque une molécule mono-mère s'unit à une autre molécule mono-mère pour donner naissance à une molécule di-mère. Ce n'est plus une huile c'est une « Standolie » d'huile de lin et elle est d'autant plus visqueuse qu'elle a été chauffée plus longtemps.

Le matériel moderne actuel permet d'effectuer cette polymérisation en cuve fermée, sous atmosphère de gaz inerte ou sous vide, sans action nocive du métal ; le changement de constitution chimique diminue considérablement la tendance au jaunissement de l'huile de départ.

Avec une huile bien raffinée, bien décolorée et bien décolorée on obtient des Standolies limpides, pâles, d'acidité faible et donnant des peintures brillantes très peu jaunissantes.

Traitement aux hydrates alcalino-terreux — les hydrates alcalino-terreux sont constitués par les oxydes hydratés de magnésium, calcium, strontium, baryum, seuls sont utilisés les deux premiers.

L'huile de lin parfaitement raffinée, décolorée et décolorée est traitée à chaud par les oxydes de calcium ou de magnésium.

Le produit obtenu est soluble dans le white-spirit avec lequel il forme un gel. On voit immédiatement l'intérêt de cette formulation puisque ce gel ne sera pas absorbé par les fonds poreux : bois, papier, plâtre.

Les peintures fabriquées par ces huiles ainsi transformées présentent les avantages suivants :

Application très facile, sans coulure, très bon accrochage sur tous les supports ;

Anti-pénétration dans les supports poreux ;

Excellent pouvoir couvrant ;

Absence totale de jaunissement — quand le jaunissement est dû au liant ;

Séchage très rapide, hors poussière de 30 minutes à 2 heures.

Huile Synouryn.

L'huile Synouryn est le type caractéristique de l'huile de ricin déshydratée.

La déshydratation de l'huile de ricin consiste à transformer une huile non siccative en une huile parfaitement siccative et ayant des propriétés spéciales et tout particulièrement absolument non jaunissante.

La fabrication de cette huile a déjà un demi siècle puisque les premiers brevets remontent vers 1900. Dans ces brevets, on cherchait essentiellement à transformer l'huile de ricin, pour la rendre soluble dans les huiles minérales ; dans ce but l'huile était traitée à haute température.

Mais, l'huile obtenue, miscible aux huiles minérales, est une huile siccatrice, aussi chercha-t-on des catalyseurs susceptibles de transformer l'huile de ricin en une huile siccatrice utilisable dans l'industrie des peintures.

Les brevets pris furent alors très nombreux : Scheiber en 1929, Noury et Van Der Lande en 1938 et 1942 et Munzel en 1938.

Les premières fabrications industrielles datent de cette époque mais si la méthode était trouvée, il y avait encore de nombreux points de détail à résoudre. Ces points furent vite résolus et dès 1939 la Synouryn apparut sur le marché.

La guerre apporta un arrêt aux fabrications, qui reprirent avec les approvisionnements en huile de ricin, en 1948.

L'huile Synouryn qui fut la première en date, continua à conserver l'avance acquise dans ce domaine et à présent l'huile Synouryn se présente comme un produit parfaitement déshydraté, donc très siccatif, non épaissi (contrairement aux huiles mal déshydratées), et de qualité constante.

Le procédé de transformation de l'huile de ricin consiste en un processus de formation d'eau au sein de la molécule, puis de déshydratation. Cette transformation bien conduite s'effectue sans polymérisation appréciable et on obtient, au dépend de l'acide ricinoléique, les acides linoléiques 9-11 et 9-12; le premier de ces acides possède comme disent les chimistes, deux doubles liaisons conjuguées et par conséquent une activité très élevée.

Voici quelques qualités de la Synouryn :

La Synouryn sèche vite, se polymérise rapidement.

Les films obtenus ont une grande résistance à l'eau, une grande résistance aux intempéries, une grande élasticité; ils ne jaunissent pas, ne rident pas malgré leur rapidité de séchage.

« La Synouryn possède donc à la fois les qualités de l'huile de lin et celles de l'huile de bois de Chine, sans en avoir les défauts ».

L'application de Synouryn siccativée forme un film souple, séchant rapidement et résistant très bien à l'eau. Ce film ne durcit pas autant que ceux à l'huile de lin et huile de bois, aussi peut-il suivre les mouvements du fond — dilatation et rétrécissement sous l'effet de la chaleur et de l'humidité — de telle sorte que les risques de voir la couche de peinture se fendiller ou se craqueler se trouvent fortement réduits.

On peut mettre ce fait très nettement en évidence, en soumettant à une épreuve comparative de résistance deux peintures au blanc de zinc de même composition, préparées l'une à base de Synouryn, l'autre à base d'huile de lin. La seconde présente au bout de peu de temps de nombreuses petites crevasses dans lesquelles la poussière se fixe; par contre le film de blanc de zinc à la Synouryn reste pendant des années parfaitement blanc et sans crevasse. Le blanc de zinc permet de mettre ce phénomène particulièrement en évidence, car ce pigment accentue les caractéristiques de dureté des films.

D'un autre côté il faudra, lors de la composition des peintures et vernis à base de Synouryn, tenir compte du fait que le film durcira moins, aussi si l'on prépare une peinture à la Synouryn comme seul liant il faudra utiliser des pigments comme le blanc de zinc, le blanc bleu de Brème, etc...

La Synouryn est le liant par excellence pour les peintures, les émaux blancs ou légèrement colorés.

Tout comme l'huile de lin, la Synouryn subit la transformation thermique et on obtient des Standolies de Synouryn qu'on utilisera de la même façon que les Standolies de lin.

Fabrication des peintures.

La Synouryn convient particulièrement à la fabrication des peintures auxquelles elle confère un séchage rapide et une grande résistance.

On remplace simplement, dans les formules, une partie de l'huile ou de la Standolie de lin par de l'huile ou de la Standolie de Synouryn, on diminue ainsi sensiblement la durée du séchage, et on améliore grandement la stabilité. Quant à la tendance au jaunissement elle est inversement proportionnelle à la quantité de Synouryn ajoutée.

On peut aussi employer la Synouryn comme unique liant mais dans ce cas il faut adapter les formules aux différentes qualités de Synouryn.

Pigments.

Pour obtenir un séchage suffisant, il faut employer principalement le blanc de zinc comme pigment; si l'on emploie des pigments contenant des matières inertes, tels que le lithopone, le film ne sera pas assez dur.

Siccatifs.

Pour avoir en toutes circonstances une peinture séchant bien il faut employer une combinaison de plomb, cobalt et éventuellement de manganèse. La quantité de cobalt ne doit pas être trop grande sinon la peinture aurait tendance à former des peaux au stockage et à se rider au séchage.

Nous conseillons les rapports suivants :

Pb 16	Co 1	Mn 1	ou mieux
Pb 16	Co 2		

C'est-à-dire que pour une partie de cobalt et une partie de manganèse il faut seize parties de plomb, toujours calculées en métal.

Ne jamais dépasser 0,4 % de plomb sur l'huile sinon on obtient une diminution de la vitesse de séchage.

Diluants.

Pour diminuer la tendance à former des peaux et à se rider, le solvant doit être composé en partie, 10 à 20 % de xylène, de solvant naphta, de dipentène, etc...

CONCLUSION

Nous venons de vous entretenir de quelques huiles siccatrices usuelles; vous avez pu voir que les traitements apportés à ces huiles diminuent grandement leur tendance au jaunissement et nous pouvons conclure sur ces quelques conseils :

Si vous désirez obtenir :

— Des peintures courantes faiblement jaunissantes, il faut utiliser des huiles de lin raffinées et vieilles artificiellement.

— Des peintures mates, blanches, peu ou pas jaunissantes, il faut utiliser des huiles de lin raffinées et traitées aux alcalino-terreux.

— Des peintures blanches, brillantes, peu ou pas jaunissantes, il faut utiliser des Standolies d'huile de lin.

— Enfin si on veut vraiment ne pas avoir de jaunissement pour des peintures blanches, satinées ou brillantes, il faut utiliser la Synouryn ou la Standolie de Synouryn.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite)

ÉDITÉ PAR LA DOCUMENTATION TECHNIQUE
DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS,
6, RUE PAUL-VALÉRY, PARIS-XVI^e

3128-7-8-56. — Typ. FIRMIN-DIDOT et C^{ie}, Mesnil (Eure).
Dépôt légal : 3^e trim. 1956.

(Ann. I. T. B. T. P.)

Le Directeur-Gérant : P. GUÉRIN.

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1956

Neuvième Année, N^{os} 103-104.

Série : *ESSAIS ET MESURES* (37).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 20 JUIN 1955

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. BORDIER**,

Président de l'Union Nationale des Chambres Syndicales de Menuiserie,
Charpente et Parquets.

LE BOIS DANS LE BATIMENT ET LES TRAVAUX PUBLICS

RECHERCHES ET TRAVAUX DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS

par **M. J. CAMPREDON**,

Ancien Élève de l'École Polytechnique,
Directeur au Centre Technique du Bois.

PERMÉABILITÉ A L'AIR DES MENUISERIES DANS LES LOCAUX HABITÉS

Exposé d'une méthode pour étudier son influence sur le chauffage

par **M. A. PASCAL**,

Ingénieur au Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment
et des Travaux Publics.

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Vous avez été conviés à cette réunion pour entendre deux conférences, une qui sera faite par M. Campredon, Directeur au Centre Technique du Bois, sur les recherches et travaux des laboratoires du bois; l'autre par M. Pascal, Ingénieur au Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics, sur la perméabilité à l'air des fenêtres.

Avant de donner la parole au premier conférencier, je voudrais saluer la présence parmi nous de M. Véron, Chef de la Division du Bois au Ministère de l'Industrie et du Commerce, de M. Collardet, Directeur au Centre Technique du Bois, ainsi que celle de M. Blais, Directeur de l'École Supérieure du Bois.

Je vous dirai un mot du Centre Technique du Bois : c'est un organisme qui est appelé à nous rendre de très grands services. Jusqu'à maintenant, il s'était occupé surtout du bois, mais je crois qu'il va aussi s'occuper des utilisateurs du bois, parce que nous avons des relations de plus en plus étroites avec lui et la présence de ses deux directeurs aujourd'hui, nous laisse bien augurer des relations à venir.

RÉSUMÉ

Recherches et travaux du Centre Technique du Bois

L'exposé avait pour but de faire un tour d'horizon sur les études et essais effectués au cours de l'année écoulée au Centre Technique du Bois, dans le domaine Charpente-Menuiserie.

Les sujets suivants ont été abordés :

Portes planes : Les essais effectués en vue du contrôle de la marque de qualité ont porté jusqu'ici sur près de 200 portes, ce qui a permis de tirer quelques conclusions d'ensemble. La plus importante pour les fabricants est que l'atmosphère sèche est l'ennemi n° 1 de la porte plane. Celle-ci doit être fabriquée à partir de bois secs (12 %) si l'on veut éviter les accidents sous l'effet du chauffage central.

Châssis de fenêtres : Des essais ont été exécutés sur des châssis présentés au concours du Plan quinquennal du secteur industrialisé du M.R.L. Ces essais concernaient l'étanchéité à l'air et à l'eau, la résistance mécanique des châssis, de leurs assemblages et de leur fixation. Ils ont permis un examen critique des modèles présentés.

Vernis pour parquets : Des études consacrées en particulier aux vernis durs et brillants, ont permis de se rendre compte de leurs avantages et inconvénients et de déterminer leur mode d'emploi. On a constaté qu'ils ne doivent être posés que sur bois secs, si possible après fonctionnement du chauffage central, pour que les lames aient atteint leur taux d'humidité d'utilisation.

Produits de protection des bois à l'extérieur : L'attention des professionnels a été appelée sur les peintures et vernis à utiliser. Il existe une gamme importante de produits sur le marché, entre lesquels il est difficile de faire un choix. Quelques conseils ont pu être donnés sur les précautions à prendre au moment du vernissage.

Essais des panneaux de fibre et des panneaux agglomérés : Il a été fait le point des recherches du Centre dans ce domaine.

Perméabilité à l'air des menuiseries dans les locaux habités

M. Pascal situe le taux optimum du renouvellement d'air dans les locaux habités au double point de vue de l'hygiène et du chauffage. Sa fréquence dépend de nombreux facteurs, et le choix du facteur étanchéité des menuiseries incombe à l'architecte. Cette étanchéité peut être étudiée :

1° au kataromètre;

2° par une méthode basée sur l'énergie nécessaire pour chauffer des locaux ne différant que par la qualité des fenêtres (procédé retenu pour les essais envisagés dans des cellules de 2×4 m, munies d'une cloison médiane avec porte, de deux baies se faisant face et du chauffage électrique);

3° par la méthode analytique.

L'étude des perméabilités à l'air des menuiseries par la méthode du coffre a permis d'établir une classification. Il a été procédé également à des mesures de pression différentielle *in situ* et à des essais sur maquette en soufflerie.

SUMMARY

The object of this account was to give a general view of the studies and tests carried out during the past year at the Centre Technique du Bois in the fields of Carpentry and Joinery.

The following subjects were dealt with :

Flat Doors : With the object of controlling the mark of quality, tests have been carried out, up to now, on nearly 200 doors, and it has been possible to draw certain conclusions from the results. The most important, for the manufacturer, is that a dry atmosphere is enemy n° 1 of the flat door. It must be made from dry wood (12 %), if accidents resulting from the effects of central heating are to be avoided.

Window frames : Tests were carried out on frames submitted for the competition of the Five years Plan of the Industrial Section of the M.R.L. (Ministry for Reconstruction and Housing). These tests concerned the air and water-tightness, the mechanical resistance of the frames, their assembly and their fixing. The tests permitted a critical examination of the models presented.

Floor varnishes : Studies, devoted in particular to hard and glossy varnishes, permitted an assessment of their advantages and disadvantages and to determine methods for their use. It was noted that they must be applied only on dry wood, if possible after the operation of central heating, so that the boards will have attained their normal « in use » standard humidity.

Products for the protection of exterior woodwork : The attention of members of the profession has been drawn on the varnishes and paints to be used. The range of products on the market is large and it is difficult to make a choice between them. It has been possible to make recommendations on precautions to be taken at the time of varnishing.

Tests on the manufacture of fibre-boards and hard-boards : A statement has been made on the development of the researches of the Center in this field.

Mr. Pascal situates the optimum rate of renewal of air in habitations from the points of view of both hygiene and heating. Its frequency depends upon many factors and the choice of the air-tightness factor of joinery must be decided by the architect. The air-tightness may be studied :

1° by katarometer;

2° by a method based upon the energy required to heat premises differing only in the quality of the windows. (This method has been adopted for tests in cells of $6,56 \times 13,12$ ft fitted with median partition having a door, with two opposite bays, and electrically heated).

3° by the analytic method.

The study of air tightness of joinery by means of the test-chamber method has resulted in the establishment of a classification. Also, measurements of differential pressures were taken *in situ* and tests on models were effected in the wind-tunnel.

RECHERCHES ET TRAVAUX DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS

par J. CAMPREDON.

PORTES PLANES

J'ai eu déjà à plusieurs reprises l'occasion de parler, au cours de mes communications annuelles, de la *marque de qualité des portes planes*, et des essais de contrôle auxquels nous nous livrons pour vérifier si elles répondent bien aux spécifications exigées. Je sais que certaines critiques ont été formulées contre les portes planes et aussi contre la marque de qualité.

En restant sur un plan purement technique, je voudrais donner quelques indications sur les enseignements généraux des essais que nous avons faits jusqu'ici et sur la leçon à en tirer.

Nous avons repris l'ensemble des résultats d'essais de contrôle obtenus sur un total de près de 200 portes examinées jusqu'à ce jour. Cela représente déjà une certaine expérience. Nous avons cherché à établir des moyennes, à faire des comparaisons entre les différents types de portes, et enfin à tirer des conclusions.

Les essais ont porté, comme l'indiquait le « Cahier des spécifications techniques relatif aux portes planes ⁽¹⁾ », sur la *planitude générale* des portes après exposition en atmosphère sèche et en atmosphère humide, sur la *planitude locale*, sur la *résistance au choc* et au *poinçonnement dynamique*, sur la *résistance à la flexion* et sur la *résistance des alaises au cisaillement transversal*.

Nous supposons connues les méthodes d'essais correspondantes ainsi que les caractéristiques minima imposées par le Cahier des spécifications techniques. Nous nous bornerons ici à indiquer les conclusions générales auxquelles nous ont conduit les essais réalisés jusqu'à ce jour.

TENUE AUX ESSAIS PHYSIQUES

Les portes planes, telles qu'elles sont actuellement fabriquées, sont *plus sensibles à la sécheresse qu'à l'humidité*.

Après la deuxième exposition en atmosphère humide, les déformations sont beaucoup moins fortes qu'après la deuxième exposition en atmosphère sèche. Les portes avec parois constituées de deux placages semblent mieux se comporter que celles avec parois en contreplaqué. Les portes avec parois en panneaux de fibres sont celles qui se comportent le mieux.

L'atmosphère sèche est donc actuellement l'ennemi n° 1 de la porte plane, parce que, semble-t-il, le bois de la plupart des portes, au moment de la fabrication, a une humidité plus voisine de 18 % (milieu humide) que de 8 % (milieu sec).

Si l'on admet que les portes en service sont exposées en hiver, avec le chauffage central, à des atmosphères très sèches (40 %), les bois se stabilisant vers 7 ou 8 %, et qu'en été le taux d'humidité des bois ne remonte guère au-delà de 12 %, on voit qu'il est absolument essentiel que les portes présentent à cet essai une tenue impeccable. Il appartient donc aux fabricants de veiller tout spécialement à la siccité des bois, en tenant compte du fait que le collage réintroduit une quantité d'eau susceptible d'élever de plusieurs degrés le taux d'humidité du bois.

TENUE AUX ESSAIS MÉCANIQUES

La porte plane résiste en général très bien aux *chocs*. Cependant il se produit parfois des décollements entre la paroi et le réseau interne, ou des fentes dans ce dernier. La paroi elle-même n'est pas souvent enfoncée.

L'emploi de colles plastiques, encaissant le choc, améliore beaucoup la tenue des revêtements sur l'âme.

Le tableau I ci-après résume les résultats de ces essais.

Au poinçonnement dynamique, la résistance est fonction de l'épaisseur de la paroi mais aussi de la disposition des éléments de l'âme. Il faut étudier l'un et l'autre.

A la flexion, c'est la rigidité de l'ossature et l'épaisseur de la porte qui assurent sa tenue.

Pour ce qui est de l'ensemble des essais mécaniques, on constate que les 2/3 des portes présentées y satisfont, donc qu'elles présentent presque toutes des qualités de solidité et de résistance suffisantes.

CONSIDÉRATIONS DIVERSES

Le tableau II résume l'ensemble de la question.

Nous répéterons donc que ce sont les essais physiques, et principalement les cycles successifs d'atmosphère humide et d'atmosphère sèche subis par la porte, qui sont les plus importants. Ce que l'on reproche, en pratique, à une porte plane, ce sont les déformations, les gauchissements qu'elle peut présenter une fois en place.

Au début, on nous disait que les essais physiques étaient trop sévères; après notre expérience, nous ne le pensons plus, car l'expérience pratique vient confirmer largement ce que nous avons pu constater en laboratoire.

Pratiquement n'ont été éliminés de la marque que les types nettement défectueux et qui ne pouvaient raisonnablement pas bénéficier de la marque de qualité.

(1) Norme française P 23 301.

Tableau I. — Tenue des portes aux essais de choc.

RÉSULTATS DES ESSAIS	CLASSEMENT DES PORTES ESSAYÉES (EN POURCENTAGE)			
	MOYENNE générale	MOYENNE contreplaqué	SUIVANT NATURE deux placages	REVÊTEMENT panneau fibres
<i>Ébranlement au sac de sable.</i>				
<i>Essai satisfaisant.</i>				
Bon comportement des portes	70	85	76	41
<i>Essai non satisfaisant.</i>				
Crevaisson de la paroi.	2	5	—	53
Décollement du réseau.	16	—	—	6
Fentes légères au réseau.	12	10	24	
<i>Poinçonnement dynamique (bille).</i>				
<i>Essai satisfaisant.</i>				
Empreinte acceptable sur les deux faces.	66	64	91	45
<i>Essai non satisfaisant.</i>				
Sur une face.	22	26	—	28
Sur les deux faces.	12	10	9	27

Tableau II. — Résultats généraux des essais.

	A L'ENSEMBLE des essais	AUX ESSAIS PHYSIQUES			AUX ESSAIS MÉCANIQUES			
		Cycle sec	Cycle humide	Planitude générale	Sac de sable	Bille	Flexion	Alaise
Portes ayant satisfait convenablement %.	26	83	99	86	70	66	71	67
Portes n'ayant pas satisfait %.	74	17	1	14	30	34	29	33

Beaucoup de fabricants dont les portes, au départ, n'étaient pas satisfaisantes, ont fait l'effort nécessaire pour les améliorer sur les points qui s'étaient révélés défectueux. Dans ces conditions, les essais ont eu une utilité certaine pour l'amélioration des fabrications.

Nous savons bien que, malgré cela, le contrôle de la marque de qualité n'est pas parfait. On peut le critiquer.

On nous a signalé des incidents regrettables, provenant de portes possédant le label et qui, une fois posées, ont

présenté des déformations inadmissibles. Souvent aussi des incidents nous ont été signalés, mais vérification faite, il s'agissait de portes non conformes au prototype possédant le label. Nous ne pensons pas que cela condamne le système. Nous croyons au contraire que le contrôle de la marque doit devenir plus rigoureux. Nous comptons à ce sujet sur la conscience professionnelle des fabricants qui se doivent de livrer une marchandise absolument conforme au modèle type qui a servi aux essais.

ESSAIS SUR CHASSIS DE FENÊTRES

Sans vouloir faire double emploi avec l'exposé que doit faire tout à l'heure M. PASCAL, je voudrais vous parler des essais que nous avons faits, à la demande du M.R.L., sur un certain nombre de modèles de fenêtres qui avaient été présentés au concours du Plan quinquennal du Secteur industrialisé.

Ces divers modèles de fenêtres ont dû subir un ensemble d'essais fonctionnels, suivant des règles fixées par un Cahier des charges établi par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

Suivant ces spécifications, les modèles présentés devaient être soumis, d'une part à des *essais d'étanchéité*

à l'air et à l'eau, d'autre part à des *essais mécaniques* en vue d'examiner la résistance et la solidité des châssis et de leurs modes de fermeture et de fixation.

Je voudrais rapidement vous donner un aperçu des résultats généraux obtenus et des conclusions que l'on peut tirer de ces essais quant à la qualité de fabrication de ces fenêtres.

Il ne s'agit ici, bien entendu, que des modèles qui ont été soumis à nos essais — près de 80 fenêtres ont été essayées, provenant de quatre fabricants importants. Ces fenêtres étaient de divers types : guillotine, basculante, coulissante, mais la majorité était des fenêtres à la française.



(1)



(2)

(1) Vue générale du caisson ouvert.

En haut : Rampe d'humidification.

Au centre : Dispositif de répartition de l'air (tuyaux en X) (Centre Technique du Bois).

(2) Fenêtre de petite dimension montée sur le caisson.

Obturation de la surface du caisson au moyen de panneaux épais de contreplaqué (Centre Technique du Bois).

(3) Vue arrière du caisson.

De gauche à droite : Ventilateur, rotamètres, manomètre pour la mesure de la pression intérieure (Centre Technique du Bois).

(4) Détail des rotamètres.

On aperçoit dans le rotamètre de droite le flotteur et la graduation sur le tube de verre légèrement tronconique (Centre Technique du Bois).



(3)



(4)

A) ESSAIS PHYSIQUES

I. — Essais d'étanchéité à l'air.

L'étanchéité à l'air des fenêtres est un facteur extrêmement important tant au point de vue économique par l'incidence qu'elle a sur le chauffage qu'au point de vue confort. En effet, les courants d'air froid sont très désagréables pour les personnes situées près des fenêtres.

La perméabilité à l'air des fenêtres a également une incidence à laquelle on ne pense pas à première vue. Elle joue un rôle prépondérant dans la transmission des bruits. Nous ne nous arrêterons pas à cet aspect de la question qui est assez complexe et qui a fait l'objet d'études particulières.

Nous limiterons notre sujet à la méthode expérimentale que nous avons utilisée pour mesurer l'étanchéité à l'air.

Pression d'essai.

C'est le premier élément à fixer.

La pression d'essai de 10 mm d'eau a, entre autres, été adoptée par le *Laboratoire de l'Institut belge du Bois*, ainsi que par le *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*. De l'avis unanime de tous les laboratoires, cette pression de 10 mm semble un maximum. Elle a l'intérêt d'être défavorable aux fenêtres dont les systèmes de fermeture sont faibles.

La mesure sous pression de 5 mm d'eau ne fait pas intervenir le système de fermeture et conduit à des différences de débits très marquées entre les différentes fenêtres. Cette pression permet une bonne différenciation entre les menuiseries, les chiffres obtenus formant un éventail plus large qu'avec des pressions plus faibles.

Le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics, qui s'est également intéressé très vivement à cette question de l'étanchéité des fenêtres et qui a fait des essais à ce sujet, a retenu la pression de 1,6 mm d'eau, ce qui correspond au débit sous un vent modéré et peut fournir directement une indication intéressante pour le calcul des installations de chauffage.

Pour les essais réalisés au *Centre Technique du Bois*, nous avons décidé d'effectuer les mesures de débit d'air des fenêtres :

1° Sous une pression d'air de 5 mm de colonne d'eau correspondant sensiblement à un vent de 9 m/s ou 32,4 km/h; ce vent correspond à un vent assez fort;

2° Sous une pression d'air de 10 mm d'eau correspondant sensiblement à un vent de 12,7 m/s ou 45,7 km/h; ce vent correspond à un vent fort.

Tous nos résultats ont été exprimés en mètres cubes par mètre carré de surface de menuiserie.

Nous avons également, pour un grand nombre de croisées, effectué des mesures de débit sous 1 mm d'eau de pression. Et nous avons trouvé et vérifié la relation établie par d'autres laboratoires, à savoir que le débit double quand la pression triple, ce qui permet de calculer le débit d'une fenêtre quelle que soit la pression à laquelle on a effectué la mesure.

Description du dispositif utilisé.

Le dispositif utilisé comprend essentiellement :
— un caisson métallique dont une face reçoit la fenêtre à essayer.

Une canalisation amène dans ce caisson de l'air à un débit constant. Cet air fuit par les joints. En régime, la pression dans le caisson excède d'une quantité constante celle de l'extérieur.

Ce dispositif est simple, mais demande un certain nombre de précautions :

Le caisson doit être étanche, ce qui est facile à obtenir pour cinq de ses faces, étant donné que nous avons utilisé un caisson métallique en tôle soudée. Par contre, l'étanchéité de la sixième face est plus difficile à obtenir, étant donné que les fenêtres présentées aux essais ont, par définition, des dimensions extrêmement variables. Nous avons résolu le problème en obturant la surface non masquée par la fenêtre à l'aide de contreplaqué épais de 15 mm. Tous les joints entre caisson métallique et contreplaqué et entre dormant de fenêtre et contreplaqué, ont été soigneusement obturés à l'aide d'un mastic très souple à base de caoutchouc.

Cette solution nous a permis d'utiliser un seul caisson pour l'ensemble de nos essais, ce qui diminue considérablement le prix de revient de chacun d'eux. Les dimensions de notre caisson nous permettent d'essayer des menuiseries ayant au maximum 2,40 m de hauteur et 2,30 m de largeur. Mais il ne suffit pas de pouvoir essayer aussi bien de petites que de grandes menuiseries, il est indispensable d'avoir une pression rigoureusement identique en tous points du caisson. Ce résultat est obtenu grâce à une profondeur de caisson de 50 cm et surtout, pensons nous, grâce à un dispositif particulier d'alimentation en air. L'air vient frapper la paroi du fond en des points équidistants du centre; à l'aide d'un manomètre, nous avons vérifié que la pression en différents points du caisson est pratiquement la même partout.

Reste maintenant à examiner la manière dont nous avons créé la surpression dans le caisson et mesuré le débit et la pression. Le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics avait résolu le problème en employant de l'air comprimé, l'Institut belge du Bois en utilisant un groupe compresseur. Ces solutions, techniquement très soutenables, nous ont paru difficiles à mettre en œuvre. Aussi avons-nous pensé que nous pourrions arriver au même résultat avec un simple ventilateur moyenne-pression et un jeu de deux vannes.

Pour la mesure des débits, après avoir utilisé un compteur à gaz de forte capacité, qui s'est révélé d'ailleurs très rapidement insuffisant, nous avons préféré utiliser une série de trois rotamètres, correspondant chacun à une échelle de débit d'air bien déterminée, ce qui nous a permis de faire des mesures précises aussi bien pour les forts que pour les faibles débits.

Le principe de ces appareils est très simple : la totalité du débit passe par un tube conique en matière transparente et soulève un flotteur dont la position indique le débit. La lecture est instantanée. L'absence de frottement ou d'inertie dans le mouvement du flotteur rend ces appareils extrêmement sensibles et leur assure une très grande précision de mesure. D'après un article paru dans la revue *Mesures* de février 1946, la fidélité de mesure sur les débits des gaz est assurée à 1 % près.

Par ailleurs, les mesures de pression à l'intérieur du caisson ont été assurées grâce à un manomètre à tube incliné, muni d'un niveau à bulle.

II. — Essais d'étanchéité à l'eau.

Les dispositions particulières de construction, les conditions d'exposition des fenêtres, qui peuvent être très différentes, nous ont amenés à penser qu'il était intéressant d'effectuer une série d'essais de plus en plus sévères qui permettrait de déceler le degré d'étanchéité d'une fenêtre, le maximum d'étanchéité n'étant pas toujours indispensable. Nous avons donc décidé d'effectuer les essais suivants sur fenêtre placée verticalement :

1^o Débit d'eau sur la menuiserie 0,75 l/mn/m² de menuiserie — Pas de pression d'air — Durée de l'essai : quinze minutes.

2^o Débit d'eau sur la menuiserie 0,75 l/mn/m² de menuiserie — Pression d'air : 5 mm — Durée de l'essai : cinq minutes.

3^o Débit d'eau sur la menuiserie 1,5 l/mn/m² de menuiserie — Pas de pression d'air — Durée de l'essai : quinze minutes.

4^o Débit d'eau sur la menuiserie 1,5 l/mn/m² de menuiserie — Pression d'air : 5 mm — Durée de l'essai : cinq minutes.

Dispositif employé.

L'essai est réalisé sur la fenêtre montée sur le caisson précédemment décrit. Une rampe d'arrosage mobile permet de reproduire une pluie artificielle sur la fenêtre à essayer. Le débit d'eau est réglé grâce à un compteur d'eau. A noter qu'avec ce dispositif, l'eau vient frapper la fenêtre suivant une ligne horizontale, puis ruisselle tout le long de la fenêtre. On s'est arrangé dans ces essais pour que l'eau vienne frapper la fenêtre un peu en-dessous de la traverse haute, les fenêtres étant normalement toujours placées en retrait des façades.

III. — Résultats expérimentaux des essais physiques.

Étanchéité à l'air.

D'une manière générale, les fuites d'air les plus importantes se produisent en haut et en bas de la fenêtre, sur la traverse haute et, davantage en général, sur l'appui. Dans la plupart des cas, les fuites relevées sur les montants de rive et sur les montants de battement étaient plus faibles.

Les essais ont porté sur des types divers se rattachant soit à des techniques traditionnelles, mouton et gueule de loup, soit à des techniques nouvelles, simple et double feuillure, etc... Nos observations ont montré que les différences d'étanchéité entre ces divers types étaient dues surtout au soin apporté à l'usinage et au montage des fenêtres plutôt qu'aux profils plus ou moins étudiés.

L'influence du système de fermeture est aussi prépondérante. Sur de nombreux modèles essayés, il suffisait d'appuyer fortement à la main sur le battant, dans le sens de la fermeture, pour réduire très notablement les fuites.

Au point de vue du débit lui-même, nous avons trouvé, sur 70 fenêtres essayées, des débits (d'air), sous une pression de 5 mm (d'eau), variant entre 10 à 20 m³ à l'heure par mètre carré et 160 à 180 m³.

Pour 50 % d'entre elles environ, le débit était inférieur à 50 m³; cela correspond, avec des fenêtres de 1,5 m² de surface, au renouvellement de l'air des 35 m³ d'une pièce normale dans une heure sous 1,6 mm de pression; donc à un débit acceptable.

Il serait possible, pensons-nous, dans la plupart des cas, en soignant la finition et la quincaillerie de fermeture, d'arriver à un résultat de cet ordre.

Étanchéité à l'eau.

Les fuites d'eau se produisent surtout au niveau des pièces d'appui. Les essais ont révélé, là aussi, des imperfections de fabrication auxquelles il serait facile de porter remède : fuites dues à des jets d'eau de section trop faible, ou à des gouttières trop peu profondes ou trop courtes, ou à des trous d'évacuation trop petits. Deux trous d'évacuation semblent préférables à un trou central, la gouttière n'ayant pas une pente suffisamment accusée vers le centre.

Sur la majorité des fenêtres, il n'y a pas eu de fuites d'eau le long des montants, sauf, dans le cas de pressions d'air importantes, au niveau des ferrures.

Nous avons constaté, souvent aussi, des fuites par les parcloches lorsque celles-ci n'étaient pas pourvues de joints d'étanchéité.

Enfin, il n'y a pas eu de correspondance invariable entre l'étanchéité à l'air et l'étanchéité à l'eau; sur la même fenêtre, l'une pouvait être excellente, alors que l'autre était mauvaise, et réciproquement.

B) ESSAIS MÉCANIQUES

Les essais effectués étaient des essais dynamiques, réalisés au moyen d'un poids de 50 kg, lâché brusquement d'une hauteur de 10 cm.

Sous un effort de ce genre, il fallait effectuer :

- Un essai de traction sur la poignée (perpendiculairement à la surface de la fenêtre);
- Un essai de charge au nez (sur la fenêtre ouverte);
- Un essai d'arrachement des paumelles ou pivots, et parfois quelques essais particuliers.

Voici quelques conclusions générales sur les résultats que nous avons observés :

Influence de l'essence de bois.

Il est évident que, dans des essais mécaniques, à dimensions égales des bois, la qualité de l'essence doit intervenir, à la fois sur les déformations et sur les risques de rupture.

Nous avons examiné surtout des fenêtres en chêne et en niangon.

Les déformations sous charge des fenêtres en chêne sont inférieures de 50 % environ aux déformations de fenêtres identiques en niangon. L'assemblage tenon et mortaise sur chêne paraît plus résistant que sur niangon, à qualité de fabrication égale. Cela a été confirmé par une série d'essais que nous avons réalisés par ailleurs sur des châssis de même fabrication, en chêne et en niangon.

Influence des profils.

L'essai de traction sur la poignée d'une fenêtre à deux vantaux fait apparaître des différences entre le profil traditionnel mouton et gueule de loup (qui fait intervenir les deux vantaux à la fois) et les profils à simple et double feuillure. Les fenêtres traditionnelles offrent plus de sécurité. Nous avons enregistré des bris de vitres sur 50 % des fenêtres avec feuillures à double recouvrement, contre 17 % sur les vantaux à mouton et gueule de loup, cela pour une même fabrication.

Influence des assemblages.

C'est l'essai de charge au nez, sur le vantail ouvert, qui nous renseigne sur la solidité des assemblages.

L'influence du mode d'assemblage était difficile à déceler, car nous avions des types d'assemblages très divers, tenon et mortaise, avec ou sans équerres, collé ou non collé, chevillé ou non, assemblages à double enfourchement, niangon ou chêne, etc... Il est difficile de tirer des conclusions d'ensemble.

Ce que l'on peut dire c'est qu'un assemblage bien réalisé donne satisfaction, quel que soit le procédé; il faut apporter un soin particulier à l'usinage et au collage lorsqu'on emploie la colle.

Nous n'avons eu que deux ruptures sur 73 fenêtres essayées : sur un assemblage à tenon et mortaise non collé, chevillé avec deux chevilles métalliques.

Arrachement des paumelles ou pirots.

Les résultats ont été satisfaisants dans l'ensemble. Ils ont fait cependant ressortir des défauts : paumelles

trop faibles pour la dimension de la fenêtre, fixation insuffisante, etc...

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Dans l'ensemble, ces essais nous permettent de formuler un certain nombre de conclusions générales. Ils ont permis de déceler les points faibles de certaines fabrications, et très souvent même d'y porter remède, par le remplacement ou le renforcement de certaines pièces et de certains profils. Ils ont mis en évidence la nécessité pour le fabricant d'apporter un soin tout particulier à la précision de l'usinage et au choix de la qualité des bois. Ils ont montré enfin que les anciens profils traditionnels, sanctionnés par une longue expérience, ne se montraient pas inférieurs, bien au contraire, aux profils que l'on propose actuellement. Ceux-ci, par contre, présentent des facilités d'usinage et de fabrication et, par suite, des prix de revient souvent inférieurs, qui justifient leur emploi dans certaines fabrications.

ÉTUDES SUR LES « VERNIS A PARQUETS »

Depuis quelques années, ont été lancés sur le marché un certain nombre de vernis spéciaux, destinés à protéger les sols, et en particulier les parquets, contre l'usure, les taches, etc... ainsi qu'à faciliter le travail d'entretien de ces parquets.

De tels vernis existaient depuis de nombreuses années dans certains pays étrangers, comme la Suède, le Canada, etc... Mais en France, leur apparition est relativement récente. Il n'y a guère que quatre ou cinq ans qu'ils sont apparus sur le marché. Cependant, ils se sont très vite développés, et depuis deux ou trois ans leur « vogue » est très grande. Il n'y a pratiquement plus un fabricant de peintures ou vernis qui n'ait son ou ses vernis à parquets. Des équipes d'applicateurs spécialisés existent un peu partout. Et la plupart des architectes connaissent maintenant ces vernis : après pose des parquets, dans un immeuble, ils doivent donc résoudre la question de savoir si l'on va, ou non, protéger ces parquets par un vernis.

En général, la réponse des architectes est essentiellement fondée sur des considérations économiques. Le vernissage, effectué par des applicateurs spécialisés, est une opération relativement coûteuse. Il revient, pour des parquets neufs, de 400 à 600 F/m²; pour de vieux parquets longtemps encaustiqués, que l'on veut rénover à l'aide d'un vernis, le prix est plus élevé : 550 à 750 F/m². Nous voudrions ici montrer que ces considérations économiques ne sont pas les seules à faire intervenir. Et, avant de décider du vernissage, ou non, des parquets, il faut avoir présent à l'esprit un certain nombre de points importants.

Le vernissage des parquets a, nous l'avons vu, un double rôle. D'abord un rôle de *protection* : protection mécanique contre l'usure du bois, ou le rayage; protection aussi contre l'eau par exemple, ou contre les taches que risquent de provoquer les différents produits chimiques ou ménagers susceptibles de tomber sur le sol. Notre laboratoire a d'ailleurs mis au point un certain nombre de méthodes d'essais qui permettent de juger de l'effica-

cité des vernis en ce qui concerne les différentes natures de protection qu'ils apportent au bois.

Mais le vernissage a également pour rôle de faciliter l'*entretien*. Actuellement, les gens sont de plus en plus « pressés » et ont de moins en moins de temps à passer chez eux aux différents travaux « intérieurs »; les domestiques se font rares. Et bien des maîtresses de maison trouvent trop longues et fastidieuses les méthodes d'entretien « classiques » des parquets (décapage périodique, encaustiquage, lustrage, etc...). Ceci explique dans une très forte mesure l'extension rapide de l'emploi des vernis à parquets : l'entretien des parquets vernis est extrêmement aisé et rapide; il suffit de passer de temps en temps sur le sol un chiffon humide.

Le vernissage des parquets présente donc d'indiscutables avantages — à condition, bien entendu, qu'il soit réalisé avec des produits de qualité, possédant bien les diverses caractéristiques requises.

Mais à côté de ces avantages, il ne faut pas cacher un certain nombre d'inconvénients.

Quelques inconvénients esthétiques, d'abord :

La plupart des vernis à parquets sont très *brillants*, ce qui à la longue finit par fatiguer les yeux et par nuire à « l'intimité » des pièces. Il est amusant de noter à ce propos que tout le monde demandait, il y a deux ou trois ans, des vernis bien brillants; et les fabricants, dans leur prospectus-réclame, mettaient l'accent sur « l'aspect glacé, brillant », de leurs vernis. Il a fallu l'expérience de cette fatigue que créaient de grandes surfaces brillantes, pour qu'actuellement les utilisateurs recherchent des vernis « satinés », rendant si possible l'aspect de l'encaustique. Peu de fabricants sont encore arrivés à des résultats satisfaisants dans ce domaine.

Quelques vernis à parquets modifient progressivement la *coloration du bois*. C'est ainsi que les vernis de la famille *phénol-formol*, par exemple, ont tendance à *brunir* le bois. Cela n'a pas toujours une très grande

importance. Mais dans certains cas où l'on a affaire à des parquets de luxe, il faut faire attention de choisir des produits ne présentant pas ce défaut (le cas s'est présenté récemment, lorsque l'on a voulu vernir les parquets du Château de Versailles : il fallait éviter à tout prix le risque d'une modification de couleur).

Mais nous allons insister sur des inconvénients plus graves :

Les vernis à parquets, comme la plupart des peintures ou vernis, ont tendance à se rétracter, à *tirer*, en *séchant*. Comme on a affaire à des produits extrêmement durs et résistants, la tension du film est quelquefois très importante et arrive à déformer les lames de parquets. Cette déformation est parfois insensible. Mais nous avons eu l'exemple de certains parquets minces, sur lesquels avaient été appliqués en couche épaisse des vernis à fort retrait, et où les déformations étaient importantes. Il est d'ailleurs à remarquer que les déformations « apparaissent » d'autant plus que, justement, le parquet est revêtu d'un vernis qui accentue tous les défauts.

Les vernis appliqués sur les parquets ont, d'autre part, tendance à former un film continu qui fait « pont » entre les lames. Ceci présente des avantages (par exemple, du point de vue hygiénique). Mais ce « pont », cette « liaison entre lames » présente un très grave danger. En effet, plus le vernis est dur et solide, plus cette liaison est forte.

Lorsque le parquet « travaille », lorsqu'il subit un retrait, par exemple du fait du chauffage de l'appartement, les lames ne « jouent » plus isolément, mais en bloc. Les « jeux » s'additionnent, et aux endroits où l'on a finalement rupture du vernis, il apparaît des intervalles entre lames parfois considérables. Pour les parquets modernes, en panneaux préfabriqués collés ou flottants sur chape de béton, on arrive parfois ainsi à des résultats catastrophiques : déformations et soulèvements des panneaux, décollements, etc...

Ces défauts sont parfois si graves qu'ils nécessitent une réfection totale des parquets. D'ailleurs, les fabricants de parquets et les poseurs sont maintenant bien avertis de ces phénomènes, et un certain nombre d'entre eux ne voient pas sans appréhension arriver le vernisseur.

Nous voudrions donner ici quelques conseils qui, s'ils sont écoutés, doivent permettre de réduire au maximum les risques d'ennuis lorsque l'on vernit un parquet :

1. Les parquets doivent être fixés d'une façon extrêmement soignée, qu'il s'agisse de parquets dits « traditionnels », sur lambourdes, ou de parquets « modernes » sur chape. Dans le cas de parquets traditionnels, il est notamment important que *chaque lame* soit clouée sur les lambourdes.

2. Les parquets ne doivent être vernis que lorsque le taux d'humidité du bois est voisin du *taux de stabilisation* du matériau placé dans des conditions normales d'utilisation (environ 8 % d'humidité lorsque le chauffage s'effectue par le sol ; environ 10 % d'humidité lorsque l'on a affaire à un chauffage central, ou par air pulsé). En particulier, lorsque du parquet posé sec s'est trouvé réhumidifié du fait du voisinage de plâtre ou maçonneries humides, on doit attendre pour le vernir qu'il ait à nouveau séché (si possible, attendre qu'il ait subi un ou deux mois de chauffage normal).

3. Ces précautions doivent être d'autant plus soigneusement respectées que l'on a affaire à des vernis plus durs et collants (c'est le cas, actuellement, d'un certain nombre de vernis urée-formol à l'eau, extrêmement répandus sur le marché).

* * *

Nous sommes actuellement très fréquemment sollicités pour trancher des différends nés d'incidents ou d'accidents sur parquets vernis : intervalles exagérés entre certaines lames, déformations, décollements partiels ou totaux de parquets modernes, lames fendues, etc... Le vernis est souvent rendu responsable des ennuis éprouvés, mais le fabricant ou l'appliqueur de vernis mettent en cause le parquet ou le poseur.

Ces différends sont parfois très difficiles à trancher : souvent les responsabilités sont partagées. Certes, le vernis en porte fréquemment sa part : mais comment savoir s'il a créé l'accident, ou n'a fait qu'aggraver les choses, ou a eu une influence négligeable ? L'accident aurait-il eu lieu si le vernis avait été appliqué sur un parquet sec, ou mieux posé ? Souvent l'architecte lui-même, qui est le premier à se plaindre et à menacer, porte une part de responsabilité. C'est lui qui a exigé la pose du parquet alors que les maçonneries n'étaient pas sèches, ou qui a exigé le vernissage sur un parquet encore humide.

C'est devant la multiplication d'incidents et de différends de ce genre, que nous avons voulu attirer votre attention sur les problèmes techniques que posait le vernissage des parquets. Mais nous ne voudrions pas, pour conclure, sembler décourager une telle pratique. Au contraire, nous l'avons montré, ce vernissage présente beaucoup d'avantages. Mais pour que ces avantages restent, et ne soient pas contrebalancés par des défauts qui peuvent être graves, nous avons voulu vous indiquer un minimum de précautions nécessaires à respecter.

ESSAIS DE PROTECTION DU BOIS CONTRE LES INTEMPÉRIES

La protection du bois contre les intempéries est un sujet qui préoccupe fort les architectes et les utilisateurs. En effet, lorsque le bois est abandonné, sans protection aux intempéries, il noircit, se fendille, se dégrade, et perd plus ou moins rapidement toute qualité esthétique.

Le bois, à l'extérieur, doit donc être protégé contre les intempéries. Mais il se pose alors la question de savoir par quoi le protéger ? Parmi les solutions existantes

(produits d'imprégnation, peintures, vernis), ce sont les peintures et les vernis qui offrent le maximum d'avantages, tant du point de vue *esthétique*, qu'*efficacilé*.

Ainsi, le problème de la protection du bois à l'extérieur, par peinture ou vernissage, est particulièrement important. Notre Laboratoire ne cesse d'essayer de lui trouver des solutions plus satisfaisantes. Un certain nombre d'études sont en cours à ce sujet. Nous vous avons parlé,

au cours des conférences des années précédentes, des essais effectués sur des *volets roulants* de différentes essences. Nous n'y reviendrons pas cette année : nous allons seulement vous dire quelques mots d'essais réalisés sur un bâtiment du Centre construit au cours de l'été 1953 en vue d'abriter certains services de notre Laboratoire.

Ce bâtiment, entièrement en bois (sapin), se compose de douze travées semblables, juxtaposées. C'est sur l'une des faces du bâtiment (face sud), que nous avons décidé de faire des *essais de tenue aux intempéries* de vernis de différents types.

Nous nous sommes adressés à sept fabricants de vernis à bois, et avons demandé à chacun d'eux de nous fournir un ou plusieurs vernis « pour extérieur », choisis parmi les plus intéressants de leur fabrication, soit à cause de leur qualité depuis longtemps éprouvée, soit au contraire à cause de leur nouveauté. Les diverses couches de vernis furent appliquées au mois de septembre 1953, dans des conditions atmosphériques aussi semblables que possible (contrôles constant de la température et de l'état hygrométrique de l'air). L'application fut faite pour tous les vernis par le même applicateur, sous notre surveillance, et en observant strictement le mode d'emploi préconisé par chaque fabricant.

Depuis le moment de l'application (c'est-à-dire depuis bientôt deux ans), des examens périodiques nous ont permis de juger de la « tenue » de ces divers vernis soumis à des conditions rigoureusement semblables et de constater leur comportement très différent. Actuellement, quelques-uns sont complètement « morts », d'autres sont plus ou moins attaqués, quelques-uns sont encore en excellent état.

Nous n'allons pas nous étendre ici sur les différents mécanismes de dégradation des vernis. Nous voudrions seulement essayer de dégager de ces essais quelques indications utiles :

Tout d'abord, il importe de remarquer que tous les essais effectués avec des vernis « à catalyser » (urée-formol, phénol-formol) se révélèrent défavorables. Il semble donc que l'on puisse conclure qu'actuellement, les vernis « à catalyser » arrivent à donner satisfaction comme protection du bois « à l'intérieur » (parquets, mobilier scolaire, « plans de travail », etc...), mais pas « à l'extérieur » — notamment à cause de leur faible souplesse et de leur sensibilité à l'eau.

En ce qui concerne les vernis « classiques » pour extérieur (glycérophthaliques, gras naturels ou plus ou moins

modifiés), il se révèle extrêmement difficile d'établir une échelle de valeurs. Finalement, ce qui importe c'est, plus que la « famille » du produit, sa *qualité* (contrôle et sélection des matières premières, préparation), et le *soin avec lequel il est appliqué*.

Un bon vernis gras vaut mieux qu'un glycérophthalique médiocre — et vice-versa. En ce qui concerne l'application, tous nos essais confirment l'importance qu'il faut attacher à la *couche d'impression*. La « tenue » du film, sa durée, dépendent dans une très large mesure de cette couche d'impression qui assure « l'accrochage » du film sur le bois.

Finalement, quelles directives donner à l'architecte ou l'utilisateur désireux d'assurer une protection aussi bonne que possible au bois exposé aux intempéries ?

— S'adresser à un *Fabricant sérieux*, et ne pas hésiter à exiger un produit de qualité (l'entretien coûte cher et il vaut souvent mieux acheter un produit un peu plus coûteux, dont la durée sera plus longue) ;

— Soigner la *couche d'impression*, qui doit pénétrer dans le bois pour assurer un bon « accrochage » — mais l'absorption par le bois ne doit pas non plus être exagérée, sous peine de « déséquilibrer » la formule du produit ;

La nature de l'impression doit être adaptée à l'essence du bois (le cas échéant, poser le problème au fabricant). Le plus souvent, pour être assuré d'avoir une bonne compatibilité entre la couche d'impression et les couches de finition, on a intérêt à acheter tous les produits chez le même fabricant.

— Faire attention aux *conditions d'application* :

— Ne pas peindre ou vernir du bois trop humide (au-dessus de 18 % d'humidité),

— Eviter les applications par temps humide, ou trop tôt le matin (rosée), ou lorsque la température est trop basse ;

— Respecter le mode d'emploi du fabricant, en ce qui concerne les délais entre couches, la dose de produit par mètre carré, etc...

* *

Ces quelques directives peuvent peut-être sembler évidentes, ou pas bien nouvelles, mais chacun de nos essais confirme l'importance primordiale qu'il faut attacher à ces « bons principes », c'est pourquoi nous avons jugé bon de les rappeler ici une fois encore.

USINAGE DES PANNEAUX DE FIBRES ET DES PANNEAUX AGGLOMÉRÉS

Depuis quelques mois, nos Laboratoires étudient l'usinage des panneaux de copeaux agglomérés et celui des panneaux de fibres.

Il est un peu tôt encore pour donner des résultats complets de nos essais. Nous nous bornerons aujourd'hui à faire le point et à noter les premières conclusions.

Pour les panneaux de fibres, les essais portent sur la gamme : Isorel, Isogil, Saborec, Renitex.

Parmi les panneaux de copeaux, nous étudions plus particulièrement les panneaux : Novopan, Roufibrex,

Fontex, ainsi que des panneaux du même genre, mais à base de lin : Isolín, Linex.

Il n'est pas très commode de procéder à l'usinage de ces matériaux en raison de la présence de liants à base de résines synthétiques qui ont l'inconvénient de rendre ces panneaux *très abrasifs*.

Par ailleurs, ces matériaux ont en général une cohésion des constituants assez faible, qui rend difficile l'obtention de surfaces nettes et sans éclats dans l'usinage, ponçage ou rabotage des surfaces.

Dans les études que nous avons entreprises, deux facteurs ont été retenus :

1. Etat de la surface après usinage;
2. Pouvoir abrasif du matériau.

A l'heure actuelle, il est à remarquer qu'aucun panneau n'est parfait. Ceux présentant des qualités marquées en ce qui concerne l'aspect de surface sont très abrasifs, en raison du pourcentage élevé de résine qu'ils contiennent. Par contre, ceux qui sont moins riches en résine, donc moins abrasifs, ne permettent pas un usinage soigné. La recherche d'un compromis semble être actuellement la ligne de conduite des différents fabricants.

La qualité du travail lors de l'usinage est donc une affaire de cohésion des copeaux ou des fibres, et cette cohésion est fonction de la qualité et de la quantité de liant utilisé à la fabrication. A noter aussi que plus les éléments de structure sont fins, plus le matériau est abrasif.

Enfin, dans certains panneaux de fabrication grossière, utilisant les déchets « tout-venant », l'usinage est encore rendu plus difficile par la présence de « corps étrangers » tels que : débris de pierres, silex, etc...

Deux séries d'essais sont actuellement en cours et portent sur :

1. Le sciage à la scie circulaire;
2. Le toupillage.

Dans ces deux cas d'usinage, le fait d'avoir à travailler un matériau abrasif conduit inévitablement à la recherche d'un métal de coupe résistant à l'usure.

A ce sujet, notre étude de 1953, axée sur le choix des aciers et des métaux durs dans l'usinage à pouvoir abrasif élevé, est tout à fait valable, tout au moins en ce qui concerne le toupillage.

Pour le sciage, certaines particularités telles que :

- L'avoyage, pour les lames classiques;
- L'affûtage, pour les lames évidées

limitent le choix des aciers et des traitements thermiques.

Avant d'examiner en détail les résultats, signalons qu'en toupillage il est pratiquement obligatoire d'utiliser des outils à mises rapportées au carbure de tungstène pour un travail de série.

Pour le sciage, la scie à ruban permet une durée d'utilisation de l'outil plus longue que la scie circulaire (outil de plus grande dimension à nombre de dents important).

A notre avis cependant, le travail de sciage à la scie circulaire est plus rationnel car il permet des vitesses d'avancement plus grandes et une meilleure précision. Le problème est donc d'arriver à scier pendant un temps suffisamment long sans réaffûtage.

Des essais sont actuellement en cours de réalisation, mais ils sont insuffisamment avancés pour en parler aujourd'hui.

En toupillage, les essais ont été beaucoup plus nombreux et, en particulier, deux points ont été étudiés en détail, tous deux basés sur la recherche des conditions de moindre usure :

1. Etude de l'angle d'affûtage;
2. Etude de l'épaisseur de copeau correspondant à la moindre usure de l'outil, ou étude de l'avance par coup d'outil.

En ce qui concerne les angles d'affûtage, les essais ont permis de constater que les angles habituellement recommandés, c'est-à-dire 30 à 35°, n'étaient pas adaptés au travail des matières abrasives.

Nos résultats semblent indiquer que cet angle doit être compris entre 50° et 55° quelle que soit l'importance de l'enlèvement de matière. Comme dans tous ces essais, la qualité du travail va rarement de pair avec les conditions de moindre usure il est, dans bien des cas, indispensable de faire le choix de cet angle en fonction du degré de finition désiré. Mais là où la qualité de travail joue un rôle secondaire : cas d'un panneau de fibres destiné à être placé en rainure, par exemple, il n'y a pas d'hésitation à avoir : 55° est l'angle optimum.

Dans l'étude de l'épaisseur de copeau de moindre usure, ce compromis est encore plus difficile à trouver.

En moyenne, pour les panneaux de copeaux, l'avance par coup d'outil rationnelle se situe entre 2 et 3 mm.

On peut chercher à obtenir des valeurs de cet ordre en réduisant le nombre de dents de l'outil. Mais il semble qu'il est préférable de les obtenir en réduisant la vitesse de rotation des outils.

Comme nous le disions plus avant, la seule façon convenable d'usiner ces panneaux, tant au point de vue de l'aspect des surfaces usinées que par celui de la tenue des outils, est d'utiliser les outils en carbure à condition toutefois d'avoir les possibilités (main-d'œuvre) de réaliser l'affûtage correctement.

A noter que si les conditions au point de vue des angles d'affûtage sont valables pour le carbure, celles visant l'enlèvement de copeaux importants ne sont pas valables. En particulier, la réduction de la vitesse de rotation ne s'impose pas, au contraire.

Signalons enfin que nous avons réalisé quelques études sur le travail en « avalant », dans lequel le bois entraîne automatiquement se trouve dirigé tangentiellement à l'outil et dans le même sens que l'action de coupe.

L'intérêt est surtout net au point de vue de la qualité du travail.

Dans ce domaine, bien des points doivent être éclaircis et les essais actuellement en cours doivent nous apporter des renseignements intéressants.

M. le Président. — Je remercie M. Campredon et je lui dis combien, personnellement, j'ai été intéressé par son exposé et d'ailleurs le nombre de notes que j'ai vu prendre me permet d'assurer que vous aussi l'avez été tout particulièrement. Je tiens à lui demander de venir nous revoir bientôt pour nous entretenir des progrès de la technique de notre métier, sur laquelle nous ne sommes pas toujours suffisamment renseignés.

PERMÉABILITÉ A L'AIR DES MENUISERIES DANS LES LOCAUX HABITÉS EXPOSÉ D'UNE MÉTHODE POUR ÉTUDIER SON INFLUENCE SUR LE CHAUFFAGE

par **A. PASCAL**,

La perméabilité à l'air des menuiseries dans les locaux d'habitation a fait l'objet de nombreuses études tant en France qu'à l'étranger. Ceci est justifié par la grande importance que ce problème revêt pour le confort, l'hygiène et pour un chauffage convenable des pièces habitées. La question est fort complexe car elle fait intervenir de nombreux facteurs : obligation d'un renouvellement d'air suffisant en fonction de l'occupation des locaux et, parallèlement, réduction de ce renouvellement d'air à une valeur acceptable pour le chauffage ; en même temps, il y a lieu de prévoir les entrées d'air frais de telle sorte que les occupants ne soient pas incommodés par des courants d'air.

Nous ne parlerons pas des locaux non habités car dans ce cas le problème de la ventilation est tout différent.

La ventilation des locaux occupés par l'homme est nécessaire parce qu'il déverse dans l'atmosphère par ses poumons et sa peau des gaz toxiques et de l'humidité, sans parler de l'odeur que chacun a pu apprécier en entrant dans une salle d'école occupée depuis longtemps, sans aération suffisante.

L'homme peut arriver à s'asphyxier lui-même par sa respiration : 1 % de CO_2 pendant quelques heures par jour peut se supporter moyennant quelques maux de tête ; 15 % est mortel, par effet de noyade.

Il faut donc créer une ventilation. En hiver, le vent et la différence de température permettent de ventiler par ouverture d'une fenêtre ou d'une bouche d'aération. En été la ventilation thermique est nulle et souvent il faut recourir à une ventilation mécanique.

Différents essais ont conduit à admettre qu'un renouvellement horaire de une fois le cube de la pièce était acceptable au point de vue de l'hygiène.

A ce stade, intervient le chauffeur qui déclare qu'il lui est impossible de chauffer économiquement un local trop ventilé. Le taux de renouvellement horaire de 1 doit être respecté et non dépassé pour les appartements. Si le taux est plus élevé du fait de la situation de l'immeuble ou de la qualité insuffisante des menuiseries (portes et fenêtres, même les portes intérieures) le coût de l'installation de chauffage et d'exploitation s'en trouve singulièrement aggravé.

Voici un exemple (fig. 1) :

Soit une pièce dont les dimensions horizontales sont de 4×5 m et ayant une façade de $4 \times 2,5$ m qui comporte une fenêtre de $1,5 \times 2$ m.

Pour une différence de température $\Delta\theta = 25^\circ \text{C}$ entre l'extérieur (-7°C) et l'intérieur ($+18^\circ \text{C}$), le coefficient de transmission de la chaleur d'ambiance à ambiance à travers le mur de façade étant : $K = 1,2$, le tableau ci-contre donne les quantités de millithermies nécessaires par heure pour maintenir à l'intérieur une température de 18° , par -7° à l'extérieur, selon que le nombre n des renouvellements de l'air par heure à l'intérieur varie de 0 à 4.

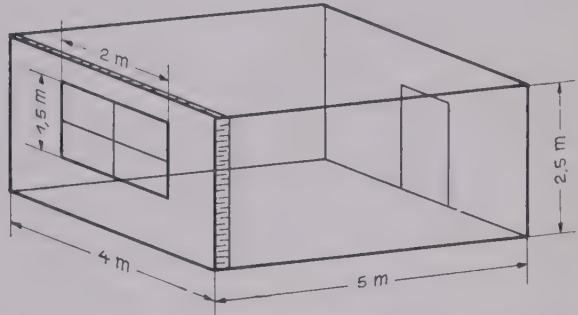


FIG. 1. — Cette pièce n'ayant des déperditions thermiques que par la façade aura ses déperditions totales triplées par un renouvellement horaire de l'air de 3.

n	Q mth/h
0	585
1	960
2	1 335
3	1 710
4	2 085

On double les déperditions thermiques avec un taux de renouvellement de 4 au lieu de 1.

Le taux de renouvellement horaire fixé forfaitairement dans les Cahiers des charges de chauffage est une vue de l'esprit qui en réalité dépend de nombreux facteurs, donc sera essentiellement variable.

Ces facteurs sont les suivants :

<i>Facteurs climatiques</i>	vent, direction, intensité, ensoleillement
<i>Facteurs bâtiment</i>	orientation, hauteur de l'appartement, disposition de l'appartement, (portes intermédiaires), caractéristiques des menuiseries.

Ces facteurs multiples placent le chauffeur devant un problème très complexe qu'il ne sait pas résoudre faute de renseignements précis à leur sujet, et il a tendance à admettre les valeurs fixées par le Cahier des charges pour le renouvellement horaire de l'air. C'est donc à l'architecte que revient le soin de choisir les menuiseries répondant aux nécessités du local qu'il projette. L'architecte est malheureusement souvent mal informé et doit se référer à son expérience personnelle.

Cette situation évolue. De plus en plus, tant en France qu'à l'étranger, de nombreuses études ont été entreprises pour éclaircir ce problème. Chacun l'a abordé à sa manière, soit globalement, soit analytiquement.

Par la méthode globale directe on détermine le renouvellement d'air dans des cas particuliers réels et à partir de nombreux résultats on essaie d'en tirer une loi générale.

La méthode analytique étudie séparément chaque phénomène intervenant dans le mécanisme du renouvellement de l'air (perméabilité de la menuiserie en fonction de la pression, pression du vent, disposition des pièces, orientation, ventilation thermique, etc...) et assemble ensuite les différents résultats pour résoudre un cas particulier.

Nous allons faire une description rapide des méthodes utilisées :

1. Méthode globale.

a) Kataromètre de Shakespear et Daynes (1920) (fig. 2 et 3).

Cette méthode consiste à suivre la variation de concentration dans le temps, d'un traceur mélangé initialement à l'air du local.

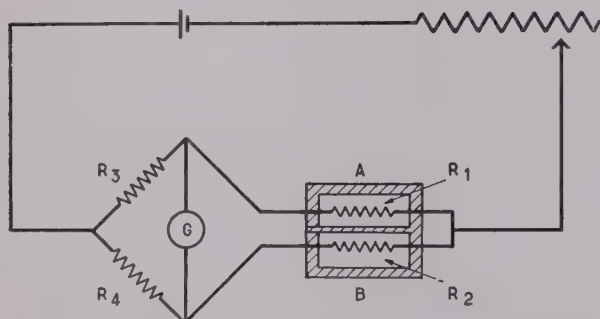


FIG. 2. — Schéma de principe du Kataromètre.

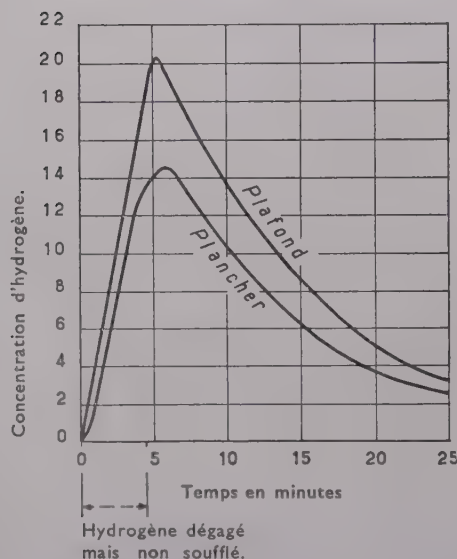


FIG. 3. — Courbes de concentration d'hydrogène.

De nombreux essais ont été faits depuis 1934 au Building Research Station en Angleterre.

Cependant, malgré plusieurs centaines d'essais, la généralisation des résultats obtenus se heurte à de graves difficultés, si bien que cette méthode semble dans l'avenir devoir plutôt servir comme méthode de contrôle que comme méthode de recherche.

Dans son application on a des ennuis parce que les parois des locaux, l'humidité de l'air et l'hétérogénéité du mélange air-traceur modifient la concentration du traceur, d'où des erreurs. Ces dernières années on avait essayé en France des traceurs radioactifs mais les résultats semblent peu encourageants.

b) Méthode globale basée sur l'énergie nécessaire pour chauffer.

Des locaux identiques comme construction et comme orientation ont comme seule variable des fenêtres de qualité différente. Un système de chauffage avec thermostat maintient dans ces différents locaux une température uniforme. La différence de consommation d'énergie électrique indiquera l'influence du renouvellement d'air sur le chauffage.

Il est envisagé de procéder à des essais par cette méthode.

La maquette du local pour les essais aura la disposition de la figure 4. Plusieurs cellules de 2 x 4 m avec une fenêtre sur chaque face et une cloison intermédiaire avec porte sont placées côte à côte. Les murs, l'orientation, le dégagement sont les mêmes pour toutes les cellules. Aux deux extrémités du bâtiment une cellule de garde chauffée aussi assure la symétrie de l'ensemble.

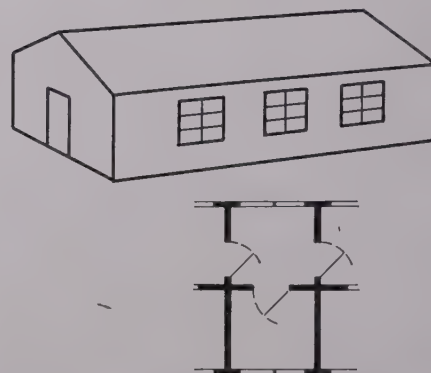


FIG. 4. — Maquette du local d'essai des fenêtres par la méthode globale.

On notera outre les consommations pour maintenir une température uniforme de 18° C :

- La vitesse et la direction du vent;
- L'ensoleillement;
- Les températures d'air internes et externes;
- Les pressions différentielles dans les différents locaux.

Indépendamment de ces essais, on déterminera la courbe de perméabilité à l'air des châssis par la méthode du coffre, avant et après la pose, pour le contrôle. En effet, le bois gonfle à l'humidité et les joints en sont modifiés.

Cette étude, qui devra se poursuivre pendant plusieurs saisons d'hiver, permettra de comparer, en œuvre, différentes menuiseries.

2. Méthode analytique.

Nous avons de nombreux paramètres qu'il faut séparer pour les étudier isolément :

- Différents types de joints;
- Largeur des joints;
- Perméabilité à l'air de châssis entiers;

Essais de joints d'étanchéité

- caoutchouc
- lames d'acier,
- klégécell.

- Vitesse du vent;
- Ensoleillement;
- Pression exercée sur le bâtiment en différents points. Essais en soufflerie sur maquette;
- Type de bâtiment et situation;
- Type du local (portes intermédiaires d'une face à l'autre);
- Ventilation thermique.

L'objet de l'étude de ces paramètres est de déterminer les coefficients qui correspondent aux différents cas rencontrés en pratique, afin de pouvoir prévoir, par l'application d'une formule simple, dans laquelle entreront ces coefficients, le taux de renouvellement d'air du local étudié. Nous n'en sommes pas là malgré les nombreuses études entreprises par les laboratoires de nombreux pays.

Les essais analytiques ont le grand mérite d'être bien définis, ce qui permet la comparaison des résultats obtenus par différents laboratoires.

Il serait très long de faire l'étude détaillée des recherches entreprises en Angleterre, Belgique, Pays-Bas, Allemagne, Suède, Canada, Etats-Unis, etc.

Ces recherches ont été surtout orientées vers l'obtention de courbes de perméabilité à l'air, en fonction de la surpression régnant sur une face, de menuiseries entières ou de profils particuliers, par la méthode du coffre, méthode appliquée de la même manière dans les différents pays et qui a été exposée par M. Blanc au cours de sa conférence sur « Les Recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics » publiée dans le fascicule n° 217 de novembre 1951 des Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (fig. 5, 6 et 7).

M. Cadiergues a tiré de ces résultats la classification (1) suivante pour les menuiseries, d'après la perméabilité exprimée en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ et pour une différence de pression de 1 mm d'eau entre les deux faces :

Classe A. — Perméabilité inférieure à $3\text{m}^3/\text{h}$; catégorie spéciale pour « conditionnement » d'air et en tout cas avec ventilation artificielle.

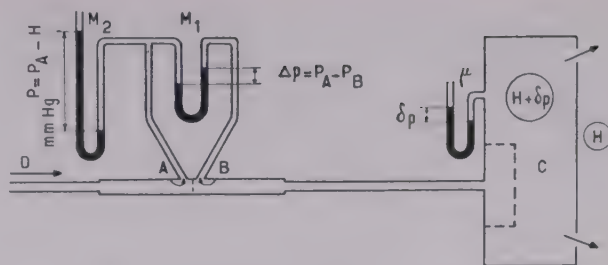


FIG. 5. — Schéma d'ensemble du dispositif d'essai.



FIG. 6. — Vue du coffre d'essai avec châssis.

- Classe B. — Perméabilité comprise entre 3 et $10\text{m}^3/\text{h}$; catégorie à recommander en site dégagé.
- Classe C. — Perméabilité comprise entre 10 et $30\text{m}^3/\text{h}$; catégorie normale.
- Classe D. — Perméabilité comprise entre 30 et $100\text{m}^3/\text{h}$; catégorie acceptable à la rigueur en site très abrité.
- Classe E. — Perméabilité supérieure à $100\text{m}^3/\text{h}$; catégorie inacceptable dans les conditions normales.

(1) Revue Bâtir n° 40 de mai 1954 — Le calfeutrement des portes et des fenêtres.



FIG. 7. — Vue du coffre d'essai sans châssis.

Reprenons l'exemple de tout à l'heure.

Pour un vent moyen de 24 km/h, nous aurons les taux de renouvellement n (nombre des renouvellements de l'air par heure) suivants :

	n
catégorie A	0 à 0,5
« B	0,5 à 2
« C	2 à 5
« D	5 à 18
« E	18 à ∞

Cet exemple montre toute l'importance du choix des menuiseries.

L'étude des pressions différentielles *in situ* dans différents cas a été beaucoup moins poussée. Quelques travaux ont été faits en Allemagne et aux Etats-Unis. La conception même des appartements a une grande importance, les différentes portes d'une façade à une autre jouent leur rôle de résistance au passage de l'air.

Pour connaître la valeur des pressions exercées par le vent sur un bâtiment il faut faire une étude sur maquette. Différents essais ont été faits en France en soufflerie (fig. 8 et 9).

Enfin, la météorologie fournit des valeurs sur la vitesse et la direction des vents durant toute l'année. Le site du

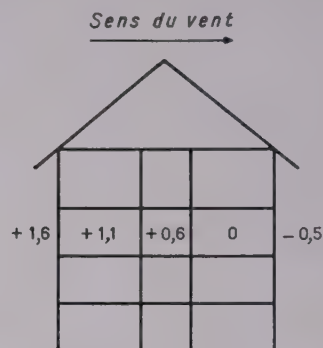


FIG. 8. — Distribution des pressions dans un immeuble (vent de 5 m/s) d'après Rietschel. L'origine des pressions est celle régnant loin de l'obstacle, dans l'écoulement non perturbé.

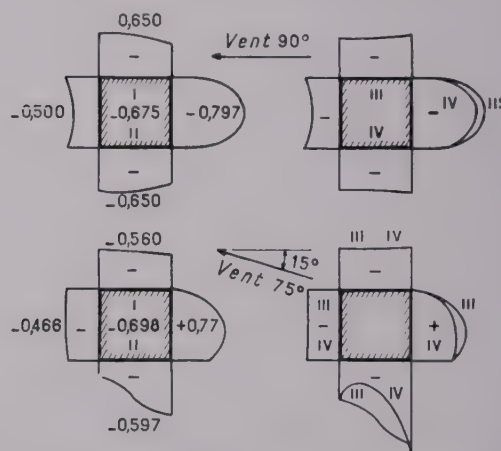


FIG. 9. — Répartition des pressions sur un immeuble avec différentes orientations du vent.

bâtiment à édifier permet de connaître les vents qu'il aura à subir.

Tous ces paramètres interviennent différemment selon la partie du bâtiment considéré, si bien que l'architecte pourra choisir des menuiseries de catégorie A pour la façade exposée aux vents dominants et, pour les façades sur cour, des menuiseries de catégorie C, par exemple.

La Commission « Menuiserie » de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics a estimé qu'il serait intéressant de compléter les études que la méthode du coffre a permis de réaliser, par de nouveaux essais effectués selon les principes de la deuxième méthode globale directe exposée plus haut.

Cette étude devrait faire ressortir l'intérêt de l'étanchéité des menuiseries au point de vue de l'économie du chauffage et permettre à l'architecte d'apprécier l'importance du choix des menuiseries pour l'économie générale de la construction.

En conclusion, nous pouvons dire que de tels essais permettraient de comparer les menuiseries, de remédier aux défauts, de trouver les bases pour l'établissement d'une norme de qualité. Pour notre part, nous n'avons pas rencontré dans les lots qui nous ont été soumis, de menuiseries, aussi bien en bois que métalliques, entrant dans les catégories D et E.

BIBLIOGRAPHIE

Le lecteur pourra se reporter aux ouvrages suivants. Certaines figures en sont extraites.

1. RUEDY. — Heat loss through windows (Canada), (nombreuses références dans cet ouvrage).
2. COLEMAM et HEALD. — Air infiltration through windows (U.S.A.), (nombreuses références dans cet ouvrage).
3. MARLEY. — The measurement of the rate of air change, (*J.I.H.V.E.* janv. 1935).
4. DICK. — Measurement of ventilation using tracer gaz technique.
5. WESTON. — Heating research in houses, *J.I.H.V.E.* (août 1949).
6. The principles of natural ventilation of buildings. Building research station digest (sept. 1951).
7. DICK et THOMAS. — Ventilation research in occupied houses. Building research station (1951).
8. THOMAS et DICK. — Air infiltration through gaps around windows. Building research station (1953).
9. Norme N.B.N. 208 (Belgique).
10. Essais de châssis métalliques. — *L'Ossature métallique* (mars 1953).
11. BLANC. — Les recherches thermiques aux L.B.T.P. *Ann. I.T.B.T.P.* (nov. 1951).
12. CADIERGUES. — La perméabilité des bâtiments à l'air, aux gaz et aux vapeurs (nombreuses références). *Ann. I.T.B.T.P.* (sept. 1953).
13. CADIERGUES. — Rapport sur les spécifications de perméabilité à l'air des menuiseries (Doc. interne de l'I.T.B.T.P.).
14. PRIS. — Ventilation naturelle et hygiène de travail.
15. PRIS. — Les applications de l'aérodynamisme à la ventilation et au chauffage des bâtiments. *Ch. Vent. Cond.* (juin-sept. 1953).
16. Section d'études de recherches et d'essais sur les effets du vent. *C.S.T.B. Cahier n° 13.*

DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Pascal et je vais demander si, dans l'assistance, quelqu'un a une question à poser, soit à M. Campredon, soit à M. Pascal, à laquelle ils se feraient un plaisir de répondre.

M. MERRON. — Sous quelle forme voyez-vous la sous-couche des vernis, la sous-couche d'impression? Que mettez-vous sous le vernis?

M. GILLES. — Cela dépend du vernis, il faut mettre une sous-couche appropriée au vernis qui va suivre. Beaucoup de gens utilisent de l'huile de lin, nous ne pensons pas que cela donne entièrement satisfaction; l'huile de lin nourrit un peu le bois mais ne bouche pas ses pores. Une couche d'impression, en principe, a pour but de nourrir le bois, de satisfaire son absorption et ensuite il ne reste plus qu'à le peindre comme une surface normale, non poreuse. Cette couche doit pénétrer pour assurer un bon accrochage, mais pas trop, car elle doit rester un peu en surface. Cette nature d'impression dépend essentiellement de ce qui va suivre; on ne peut pas fixer de règle générale. D'une manière générale, il vaut mieux qu'elle soit fournie par le fabricant de peinture. Les bons fabricants, les fabricants sérieux, ont des impressions appropriées à chacun des types de leurs produits.

M. CAMPREDON. — C'est pourquoi nous avons dit : il faut que les deux produits se conviennent au point de vue chimique. Par exemple, il ne faut pas que la couche soit néfaste au vernis, et c'est pour cela que nous disons qu'il faut s'adresser au fabricant.

M. MERRON. — On nous demande l'impression d'une menuiserie avant de savoir quel est le vernis.

M. PRIS. — M. PASCAL a signalé le grand nombre de paramètres qui interviennent dans les études effectuées au laboratoire sur l'étanchéité des fenêtres et, parmi ces paramètres, il y en a un, le facteur temps, dont l'importance est certaine.

Avez-vous eu l'occasion d'étudier la perméabilité des fenêtres ayant un certain nombre d'années d'usage?

M. PASCAL. — Uniquement des châssis métalliques, il n'y a pas de modification. Pour le bois, certainement.

M. PRIS. — J'ai entendu parler de châssis métalliques que l'on avait envoyés en Afrique pour être montés sur des constructions neuves et comme l'emballage n'avait pas été parfait, sous l'action de l'air salin, ils étaient arrivés dans un assez mauvais état. La peinture avait été mangée et, lors du débarquement, des chocs un peu violents les avaient légèrement déformés, si bien que les joints qui peut-être étaient de l'ordre de 1 à 2 mm — il n'en faut pas beaucoup — dépassaient largement cette cote, ce qui fait que la perméabilité avait été notablement modifiée.

Je crois que cette question de châssis utilisés après un transport puis entreposés plusieurs années, a une certaine importance et qu'il serait fort utile de connaître, non seulement la perméabilité de châssis sortant d'usines différentes, mais encore après un certain nombre d'années d'usage et ceci en fonction du climat.

Il y a aussi un détail au sujet duquel je vous demande à être renseigné. Étant donné la pression intérieure des locaux par rapport à la pression barométrique externe, il y a tantôt dépression et tantôt, au contraire, surpression du local, c'est-à-dire que le courant peut passer de l'extérieur à l'intérieur, ou de l'intérieur à l'extérieur. Est-ce que le coefficient de perméabilité des châssis est le même dans les deux cas?

M. PASCAL. — Des essais que nous avons faits, il ressort que le coefficient est le même.

M. HUEBEN. — Pour la peinture, il y a une chose qui s'est avérée exacte et que tout le monde connaît, au moins dans le bâtiment, c'est que pour les impressions en peinture la première couche doit

être maigre, c'est-à-dire un peu d'huile de lin, en raison du fait que lorsque l'on fait une impression fortement huilée à l'huile de lin, la peinture ne tient pas, elle ne résiste pas aux intempéries. Voilà ce que je voulais faire remarquer. Mais, pour le vernis nous n'avons pas pu avoir d'indications.

M. LE PRÉSIDENT. — Comme nous souffrons beaucoup actuellement d'une désaffection pour les extérieurs en bois et que l'on voit les extérieurs métalliques les supplanter, je voudrais demander à M. Pascal si, dans les expériences qui ont été faites, les croisées en bois s'avèrent plus étanches que les croisées métalliques, ou inversement ?

M. PASCAL. — Les croisées métalliques pures sont moins bien placées, mais couplées avec des joints genre Klégécell, on arrive à d'excellents résultats.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous remercie.

UN AUDITEUR. — Les joints, il faut les remplacer de temps en temps.

M. BERROD. — Je désirerais exposer la méthode que j'emploie quand j'ai une devanture à faire comportant l'application de vernis gras. Je fais une mixture composée de $\frac{1}{2}$ litre d'alcool, $\frac{1}{5}$ de litre de vernis au tampon et j'ajoute du talc afin d'obtenir une pâte fluide que j'étale sur le bois en appuyant pour la faire rentrer dans les pores; je la laisse sécher un instant, puis je frotte pour enlever l'excédent de manière à faire apparaître le fil du bois. Le vernis gras peut être étalé ensuite, le bois conservera sa teinte et ne noircira pas. Il est recommandé de revernir environ tous les trois ans une devanture exposée; pour des volets (persiennes), il suffira de revernir tous les six ans.

M. LE PRÉSIDENT. — Il me reste à remercier les conférenciers ainsi que vous-mêmes pour votre bienveillante attention.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1956

Neuvième Année, Nos 103-104.

Série : TRAVAUX PUBLICS (38).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 8 NOVEMBRE 1955

sous la présidence de **M. Jean LAPÉBIE**,
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

AMÉNAGEMENT DU CARREFOUR POMPADOUR A CRÉTEIL

par **M. Gilbert DREYFUS**,
Ingénieur des Ponts et Chaussées.



Photo aérienne H. Bouchon, Paris

Vue aérienne de l'ouvrage terminé.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

L'aménagement du carrefour Pompadour, qui fait l'objet de la présente séance, entre dans le cadre de l'aménagement du réseau routier de la région parisienne.

Dans le département de la Seine, noyau de la région parisienne, le réseau routier est essentiellement constitué par un certain nombre de radiales qui sont les grandes routes nationales reliant Paris aux principales villes de province, et par une route de rocade, la route nationale 186, qui fait le tour de la capitale, à une distance de 5 à 10 km des anciennes fortifications, en passant par Choisy-le-Roi, Saint-Maur, Rosny-sous-Bois, La Courneuve, Saint-Denis et Gennevilliers.

Cette route de rocade reçoit une circulation très importante, qui augmente sans cesse, et cela se comprend étant donné qu'elle remplit un rôle de distribution, en quelque sorte, entre les courants de trafic empruntant les différentes radiales.

Pour lui permettre de faire face à cet accroissement de trafic, différents travaux ont été exécutés, ou sont en cours d'exécution : élargissement de chaussées, reconstruction d'ouvrages d'art, déviations dans certains cas, et enfin, aménagement de carrefours.

C'est dans cette dernière catégorie que rentre l'aménagement du carrefour Pompadour dont on va vous parler. M. Dreyfus va vous faire un exposé sur le projet et l'exécution des travaux. Je donnerai ensuite la parole à ceux d'entre vous qui auront des observations à présenter et nous terminerons enfin par la présentation du film que l'Entreprise Quillery a fait exécuter sur les travaux.

EXPOSÉ DE M. DREYFUS



FIG. 1. — La Marquise de Pompadour.

Jeanne-Antoinette Poisson, Marquise de Pompadour (fig. 1), serait sans doute fort étonnée d'apprendre qu'elle patronne aujourd'hui une conférence essentiellement technique relative à l'aménagement d'un carrefour de la région parisienne. À bien réfléchir la coïncidence n'est qu'apparente : la carte des Chasses publiée en 1770 montre, en effet, que le tracé de notre route nationale n° 186, principale rocade rapprochée autour de Paris, respecte rigoureusement dans la banlieue sud le tracé d'une voie royale somptueusement aménagée sous le règne de Louis XV, lequel désirait pouvoir se rendre aussi rapidement et confortablement qu'il le permettaient les transports du XVIII^e siècle, de Versailles à Choisy-le-Roi dont le château fut l'une des résidences de la Marquise de Pompadour.

Sur le tracé de cette voie royale, nous notons l'existence des principaux carrefours qui la jalonnent aujourd'hui : Bernis-Château à l'emplacement de la Croix-de-Berny actuelle, intersection de la route d'Orléans; la Belle-Epine à l'intersection de la route de Fontainebleau; le carrefour Pompadour, au croisement de la route de Melun, n'a pas encore reçu, sur la carte établie en 1770, le nom de carrefour Pompadour bien que la Marquise soit morte alors depuis six ans.

* * *

UTILITÉ DE L'AMÉNAGEMENT DU CARREFOUR

Vous allez voir dans quelques instants le film réalisé lors des travaux entrepris par les Ponts et Chaussées de la Seine pour l'aménagement de ce carrefour où convergent la route nationale n° 5, la route nationale n° 186 et le chemin départemental n° 60 (fig. 2).

Pour se rendre compte de la nécessité de cette opération, il n'est qu'à se reporter aux récents comptages de la circulation qui accusent sur la route nationale 5 un trafic quotidien de 8 à 13 000 véhicules suivant les saisons, avec pointe du dimanche dépassant 22 000 et sur la route nationale 186 un trafic quotidien variant de 2 à 6 000. Le produit du nombre moyen d'usagers sur chacune des voies, valeur qui caractérise en première approximation le nombre de conflits possibles et est ainsi une mesure commode de la probabilité d'accidents ou d'encombrement, s'établit donc à $10\,000 \times 4\,000 = 40\,000\,000$. Certaines normes étrangères estiment que la séparation des niveaux à un carrefour est souhaitable dès qu'un tel produit dépasse 3 millions. Par le rapprochement de ces deux valeurs, on mesure ainsi combien était nécessaire l'aménagement du carrefour, d'autant que ce produit de 40 millions ne fait pas état du trafic sur le chemin départemental 60, importante bretelle qui réunit la route nationale 186 à la route nationale 19 vers Troyes et à la route nationale 4 vers Nancy, et qui conduit également à deux très importantes sablières ; le trafic propre de ces seules sablières entraîne plus de 1 000 passages de poids lourds sur le carrefour.

L'aménagement du carrefour Pompadour fait partie d'un ensemble d'opérations étudiées dans le cadre du *Projet d'Aménagement de la région parisienne* dont la réalisation, interrompue par la guerre, a repris depuis la mise en application du *Fonds d'Investissement Routier*.

C'est ainsi que, sur la R.N. 5, la déviation de Maisons-Alfort est ouverte depuis 1938, que les Services des Ponts et Chaussées de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne ont réalisé l'élargissement de la chaussée à 14 m entre Pompadour et Villeneuve-Saint-Georges, la déviation de Villeneuve-Saint-Georges et la déviation de Lieusaint ; l'aménagement sud de Villeneuve-Saint-Georges est en cours, la dévia-

tion de Montgeron vient d'être déclarée d'utilité publique.

Sur la R.N. 186, le carrefour du Petit-Clamart a été récemment aménagé à niveau avec mise en place d'un dispositif très complet de feux tricolores ; le souterrain de la Croix-de-Berny a été mis en service en 1950, le Pont de la Belle-Épine en 1939 ; les traversées de Choisy-le-Roi et de Saint-Maur doivent être aménagées dans le cadre du deuxième programme quinquennal du Fonds d'Investissement routier (1957 à 1961). Ce programme comprendra notamment, nous l'espérons, la reconstruction du Pont de Choisy sur la Seine et la reconstruction du Pont de Créteil-Saint-Maur sur la Marne.

CHOIX DU PARTI ADOPTÉ

Vous verrez, au début du film, quelques vues des différents ouvrages de croisement en service sur la R.N. 186, ils sont assez différents dans leur principe de celui qui a été réalisé au carrefour Pompadour. Quels sont donc les éléments qui ont permis à nos prédécesseurs de choisir, pour l'aménagement du carrefour Pompadour, le parti le plus rationnel et le mieux adapté aux conditions locales ? Ils sont, je crois, au nombre de trois :

1. Prédominance de la circulation sur la R.N. 5 dont le trafic devait être entièrement isolé ;
2. Présence très voisine du passage supérieur de la R.N. 186 au-dessus des lignes de la S.N.C.F. (région du sud-est) définissant un point de passage obligé du profil en long de cette voie ;
3. Sous-sol composé de sable et gravier extrêmement perméable et sensible aux crues de la Seine et de la Marne dont les points les plus proches sont respectivement situés à 2 et à 3 km du carrefour.

Ces trois données amenaient tout naturellement à concevoir l'ouvrage (voir la photographie de couverture) comme un vaste champignon en remblai sous lequel passe la R.N. 5 au niveau du terrain naturel et à la surface duquel se distribuent, sur un rond-point, les circulations des deux branches de la R.N. 186, du C.D. 60 et des quatre bretelles de changement de voies issues de la R.N. 5.

RÉSUMÉ

L'aménagement du carrefour Pompadour est un vaste champignon en remblai sous lequel passe la R.N. 5 au niveau du terrain naturel et à la surface duquel se distribuent sur un rond-point les circulations de la R.N. 186, du C.D. 62 et des quatre bretelles de changement de voies issues de R.N. 5. La R.N. 5 passe sous deux passerelles en béton précontraint supportées par deux murs de soutènement en gros béton, revêtus de carreaux blancs en grès cérame. Les travaux ont été exécutés de novembre 1952 à novembre 1954.

SUMMARY

The arrangement of the Pompadour crossing is a wide embanked mushroom under which, at the natural ground level, passes the Route Nationale 5, and at the surface of which are distributed on a roundabout the traffic of the Route Nationale 186, of the C.D. 62, and of the four cross-over roads originating from the R.N. 5.

The R.N. 5 passes beneath two prestressed concrete footbridges supported by two coarse concrete retaining walls which have been faced with white stoneware tiles. The work was executed between November 1952 and November 1954.

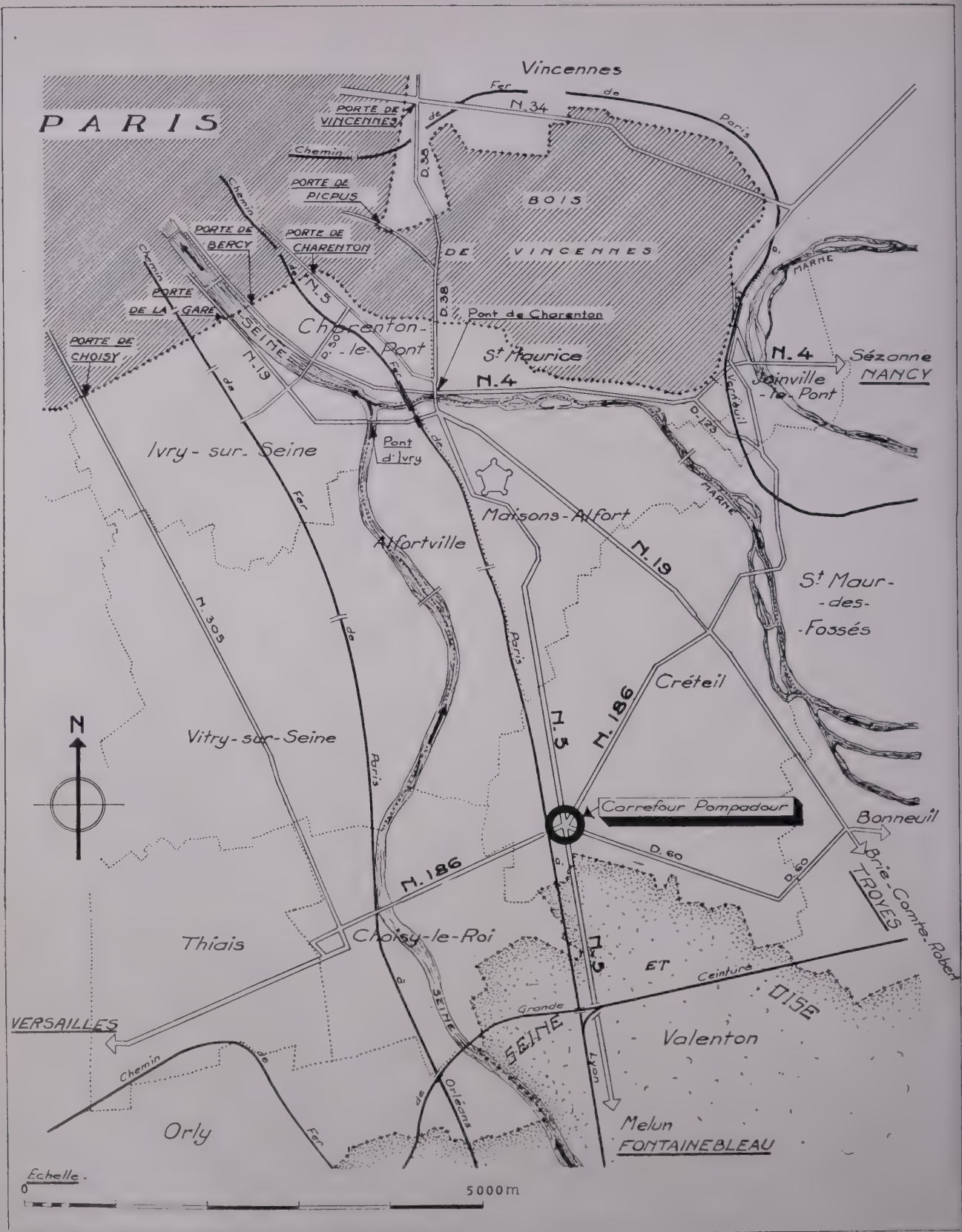


FIG. 2. — Plan de l'aménagement du carrefour Pompadour.

Cette solution présente, en effet, l'avantage d'éviter toute construction dans les sables perméables où se seraient posés de difficiles problèmes d'étanchéité et de limiter à une valeur très acceptable le pourcentage de la rampe reliant le rond-point surélevé à l'ouvrage qui enjambe les voies de la S.N.C.F. C'est sur ces bases qu'a été étudié l'avant-projet et qu'ont été réalisées, dès 1941, les expropriations nécessaires, sans que l'on ait su à l'époque à quelle date pourraient être effectués les travaux. Cette situation (terains disponibles et avant-projet étudié) a permis à M. le Ministre des Travaux Publics de retenir cette opération dans la liste de celles qui, par décret du 16 mai 1952, constituaient la tranche de démarrage du programme quinquennal du Fonds Routier; après mise au point du projet d'exécution, l'adjudication put ainsi avoir lieu dès le 4 septembre 1952; les travaux débutèrent en novembre 1952. L'ouvrage a été ouvert à la circulation exactement deux ans plus tard, soit en novembre 1954; les travaux de parachèvement sont aujourd'hui pratiquement terminés à l'exception de l'éclairage de surface qui est en cours.

L'existence d'un avant-projet dans les cartons de l'Administration a ainsi permis de mettre un grand ouvrage en service dans un temps particulièrement court, mais la médaille a son revers : pris dans le corset des expropriations réalisées nous n'avons pu donner aux caractéristiques toute l'ampleur nécessitée par l'accroissement continu de la vitesse et du trafic; c'est ainsi que la largeur de chaussée de la R.N. 5 (fig. 3) est de 12 m — soit quatre voies de 3 m — alors que les normes nouvelles donnent aux voies une largeur de 3,50 m, soit une largeur de 14 m pour quatre voies; la distance séparant la paroi des murs de soutènement des bordures de chaussée est réglementairement fixée à 0,75 m mais à l'expérience, nous conseillons de porter cette largeur à 1,20 m ou mieux à 1,50 m car par une sorte « d'effet de paroi », le conducteur circulant à vive allure a tendance à s'écarter du mur et il utilise fort mal la chaussée mise à sa disposition; nous avons cherché à remédier à ce défaut en

matérialisant sur la chaussée les quatre voies par trois bandes de peinture discontinues; avant de tirer le maximum d'avantages de ces marques sur chaussée, aujourd'hui réglementaires, je pense qu'il est nécessaire d'entreprendre une éducation très poussée de la masse des usagers sur l'utilité pratique et la valeur juridique d'une telle signalisation; cette éducation doit pouvoir être obtenue par une vaste campagne publicitaire bien orchestrée du type de celles qui permettent de lancer sur le marché un nouveau dentifrice, un dentifrice ou un apéritif.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage est conçu de façon très simple; il se compose essentiellement de deux murs de soutènement parallèles en gros béton qui encadrent les trémies d'accès et constituent les culées de deux passerelles établissant la continuité de la circulation sur le rond-point supérieur. Sur ce rond-point, une chaussée de 15 m de largeur présente un rayon de 30 m à la bordure intérieure et un rayon de 45 m à la bordure extérieure; une trémie centrale rectangulaire (fig. 4) assure largement l'éclairage diurne de la R.N. 5; c'est là une disposition intéressante et nouvelle; au souterrain de la Croix-de-Berny, un éclairage central a également été réalisé par une ouverture latérale à la chaussée, mais les dispositions des lieux y sont telles que cet éclairage naturel est insuffisant et nécessite l'adjonction permanente d'un éclairage fluorescent.

Les parois des murs ont été particulièrement soignées; dans les trémies extérieures et centrale, elles sont constituées, sur une épaisseur de 10 cm, par un béton spécial en pierre bleue des Vosges très grossièrement tétué au pistolet pneumatique qui constitue une surface particulièrement rugueuse brisant la lumière et diminuant l'effet d'éblouissement à l'entrée



FIG. 3. — Trémie d'accès de la R. N. 5.



FIG. 4. — Trémie centrale d'éclairage.



FIG. 5. — Paroi des murs des trémies.

du passage inférieur (fig. 5). Sous les passerelles, les culées sont revêtues de carreaux blancs en grès cérame, placés bord à bord, sans joints creux, de façon à faciliter l'entretien d'une surface particulièrement lisse.

Les passerelles, d'une portée de 14 m environ, étaient, dans le projet de l'Administration, prévues en béton armé classique; l'entrepreneur a proposé de les remplacer par des passerelles en béton précontraint qui sont en elles-mêmes plus onéreuses mais qui permettent, pour un même gabarit réservé sous l'ouvrage, de gagner sur l'épaisseur du tablier; ce gain se répercute sur la hauteur des murs, sur la surface de leur revêtement et sur la quantité de remblais à mettre en place, si bien qu'en définitive, cette substitution ne comporte pas d'incidence pour l'Administration, mais donne à l'ouvrage qui s'inscrit harmonieusement dans le paysage de plaine avoisinant, un aspect de finesse extrême (fig. 6).

EXÉCUTION DES TRAVAUX

Les travaux ont été conduits avec le souci de mettre l'ouvrage en service dans les moindres délais. Une prime de célérité prévue au Cahier des charges incitait l'entreprise à respecter un délai de cinq cents jours ouvrables. Pour atteindre ce but, avec le minimum de risques, le chantier a dû être totalement isolé; la circulation a été dirigée sur une déviation provisoire ceinturant le carrefour (fig. 7); la chaussée de cette déviation, de 9 m de largeur, établie sur fondation de béton maigre, avec des pavés échantillons récupérés dans les dépôts de l'Administration a assuré, pendant dix-neuf mois, la circulation dans des conditions très acceptables et sans accident notable. La déviation a également facilité le déplacement des multiples canalisations et conduits qui encombraient le sous-sol



FIG. 6. — Tablier en béton précontraint.

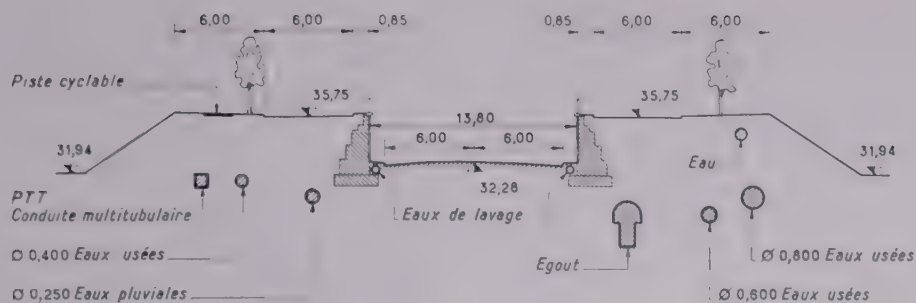


FIG. 7. — Coupe montrant l'encombrement du sous-sol.

du carrefour et dont la plupart n'ont pas pu être placés directement en position définitive (fig. 8). Malgré le prix élevé de ces chaussées établies sur des terrains de culture loués pour une durée de trois ans, le procédé est incontestablement rentable, non seulement du point de vue de l'économie propre de

l'opération du fait de la réalisation possible des terrassements par engins mécaniques et de la fabrication en centrale du béton mis en œuvre en grande masse (jusqu'à 150 m³ par jour), mais aussi, a fortiori, du point de vue de l'économie générale; si la circulation n'avait pas été détournée, il aurait fallu en effet



FIG. 8. — Vue aérienne montrant la déviation provisoire.

ajouter au prix des travaux proprement dits, la valeur des pertes de temps et des pertes de carburant subies par les quelques 10 millions de véhicules qui auraient eu à franchir les chicanes du carrefour pendant les trois années qu'auraient vraisemblablement duré les travaux. Dans le film, vous verrez revenir comme un leit-motiv la circulation sur la déviation : à toutes les phases d'exécution du travail, nous avons en effet apprécié l'aisance fournie par cette déviation qui a permis de mettre en œuvre des techniques et du matériel appropriés à l'ampleur du chantier.

Nous nous sommes heurtés pourtant, lors de l'exécution des travaux à un certain nombre de difficultés : la première lors de la construction d'un tronçon d'égout prolongeant un égout existant ; la fouille n'a pu être asséchée par simple pompage tant les venues d'eau étaient importantes dans le sol sableux ; l'exécution de pompages plus poussés aurait d'ailleurs mis en danger la stabilité de l'ouvrage lui-même car les sables fins étaient aspirés par la pompe en même temps que l'eau ; il a été nécessaire pour venir à bout de cet égout de le construire entre deux rangs de palplanches métalliques, préalablement battues dans la couche de sable fin ; fort heureusement, il ne s'agissait que d'un ouvrage accessoire ; quels aléas aurions-nous eu à surmonter s'il avait fallu établir dans un tel terrain, tout le cuvelage étanche d'un véritable souterrain ; nous avons pu alors nous féliciter du projet adopté qui a permis d'établir tous les ouvrages à l'exception de ce court tronçon d'égout, au-dessus de la nappe aquifère ; une autre difficulté provint de la pose d'une conduite de refoulement de 0,80 m de diamètre ; l'ouvrage prévu en tuyau de béton armé et centrifugé claqua à plusieurs reprises lors des essais de mise en charge et il fallut finalement placer la conduite en galerie ; les éléments de cette galerie (fig. 9) d'un type déjà utilisé par notre Service pour la couverture de la rivière de Bièvre ont été préfabriqués en traitant le béton par le vide. Enfin, une dernière difficulté se présenta lors de la mise en place des remblais : d'énormes progrès ont pourtant été réalisés dans ce domaine depuis une dizaine d'années grâce au contrôle des sols en laboratoire, au matériel utilisé et aux techniques de mise en œuvre ; le rouleau à pneus lourds en particulier est un engin remarquable que nous avons eu l'occasion d'utiliser sur d'autres chantiers et qui permet de déceler, lors de la mise en place des remblais, les zones faibles, mal compactées ou composées de remblais de mauvaise qualité ; malheureusement, dans des zones très mouvementées comme les culées d'ouvrages ou les abords des murs de soutènement, il est impossible d'utiliser de tels engins d'autant que le terrain est préalablement encombré par les cheminées de regards (fig. 10) de toutes les canalisations qu'il a fallu détourner avant la mise en place du remblai. J'avoue ne pas connaître de solution satisfaisante pour la mise en place de façon rentable d'une quantité de remblais importante (il s'agissait ici de 70 000 m³) lorsque l'apport ne peut se faire pratiquement en couche mince et que les engins modernes de terrassement ne peuvent circuler sans encombre.

L'esthétique de l'ouvrage a été particulièrement soignée ; j'ai déjà indiqué les particularités des parois



FIG. 9. — Galerie en éléments préfabriqués.

des culées et des murs de soutènement ; les murs (fig. 11) sont surmontés d'une corniche en pierre de taille de l'Isère et d'un garde-corps en acier, composé de tubes profilés et lisses en tôle pliée ; il a été fourni par l'Entreprise Paquet-Fontaine. On notera également l'arrondi des extrémités de trémies latérales (fig. 12), tracé qui améliore notablement la visibilité au débouché des rampes sur le rond-point supérieur.

La mise en place du dispositif d'éclairage de l'ouvrage est en cours ; il comporte, dans le passage inférieur des tubes fluorescents, directement fixés sur les parois des murs sur le rond-point et sur les trémies d'accès, des supports métalliques équipés de lampes à ballon fluorescent à vapeur de



FIG. 10. — Encombrement des abords par les cheminées de regards.

mercure; les supports sont fournis par Entrepose et les foyers par l'Entreprise Neuhaus.

Les travaux de génie civil ont été réalisés par l'Entreprise Quillery de Saint-Maur-des-Fossés; les rapports entre l'Entreprise et l'Administration se sont poursuivis pendant toute la durée des travaux sur le plan de la plus parfaite coopération et c'est en commun que nous avons cherché à résoudre tous les problèmes qui n'ont pas manqué de se poser sur le chantier et que j'ai évoqués devant vous; c'est pourquoi j'ai été heureux de vous présenter cet ouvrage en guise d'introduction au film réalisé par l'Entreprise.



FIG. 11. — Détail des murs de la trémie centrale et dispositif d'éclairage.



FIG. 12. — Arrondi des extrémités de la trémie latérale.

M. Le Président. — Je remercie M. Dreyfus de son intéressant exposé. Comme vous vous en serez rendu compte, l'aménagement du carrefour Pompadour ne constitue pas un ouvrage extraordinaire, ni par ses dimensions, ni par ses procédés de construction. Mais il présente certaines caractéristiques particulières et l'exécution des travaux a comporté, comme vous l'a indiqué M. Dreyfus, des solutions originales qui peuvent être intéressantes, je crois, pour les ingénieurs appelés à s'occuper de travaux de ce genre.

Les travaux ont été exécutés sous la haute autorité de MM. L.A. Lévy et Cosmi, Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, et sous la direction de MM. Dreyfus, Ingénieur des Ponts et Chaussées et Delattre, Ingénieur des Travaux Publics, par l'Entreprise Quillery, et cela dans les meilleures conditions, aussi bien au point de vue conditions techniques d'exécution qu'au point de vue délais, puisque l'entreprise a respecté entièrement les délais qui lui étaient impartis, s'assurant ainsi les primes de célérité prévues.

Ce résultat a été obtenu grâce à un excellent planning des opérations, grâce aussi à l'efficacité du principe adopté pour l'exécution des travaux et dont vous a parlé notre conférencier, qui consistait à dévier la circulation de manière à débarrasser complètement le chantier de la circulation et à pouvoir exécuter les travaux en grand.

Je crois, dans ces conditions, que nous pouvons unir dans nos félicitations, les ingénieurs qui ont conçu le projet et dirigé l'exécution des travaux, et l'Entreprise Quillery qui les a exécutés.

DISCUSSION

M. Faisandier. — J'aurais voulu poser quelques questions au sujet de la déviation provisoire. Qualitativement, il apparaît évident qu'il est plus simple de travailler lorsque la circulation est reportée à quelques centaines de mètres du chantier; mais je voudrais demander au conférencier si quelques études théoriques, au départ, avaient été faites sur la rentabilité de la déviation provisoire, compte tenu de l'allongement de parcours des usagers de la route 5 et du coût des travaux de cette déviation.

M. Dreyfus. — Je crois que les déviations provisoires sont largement rentables, elles sont largement payées aussi bien par l'économie réalisée sur l'opération elle-même que par l'économie réalisée par l'ensemble des usagers.

Une étude faite après coup par l'Entreprise, je dois le dire, a montré qu'il aurait fallu augmenter les prix de 15 à 20 % pour exécuter les travaux sans déviation provisoire, avec l'obligation de laisser la circulation sur le carrefour.

Il aurait probablement fallu réaliser les murs dans des coffrages et réaliser les remblais aussi bien que les chaussées, par petits tronçons. Le marché est de l'ordre de 300 millions; on a là 50 à 60 millions d'économie réalisée du fait de la déviation. Cette déviation a coûté elle-même 60 à 70 millions. Dans ces 70 millions, il y a la location des terrains, les pertes de cultures que nous avons assez largement payées aux agriculteurs; l'exécution des remblais et des chaussées, l'éclairage de cette déviation provisoire pendant les dix-huit mois où elle a fonctionné,

et enfin le démontage des chaussées, la démolition du béton, l'enlèvement des remblais et la remise du sol en état de culture, avec apport de terre végétale.

Donc, je crois que la déviation elle-même équilibre à peu près le bénéfice que l'on a pu tirer des prix consentis lors de l'adjudication.

D'autre part, pour l'ensemble des usagers, si on n'avait pas exécuté cette déviation, le chantier aurait duré vraisemblablement trois ans, pendant lesquels il y aurait eu — je l'ai indiqué — 10 millions de véhicules qui auraient eu à franchir les chicanes du chantier. Dans un rapport établi à l'occasion d'un récent cycle d'études routières, M. l'Ingénieur en Chef Schuhl a chiffré à 180 F le coût de l'heure de l'usager, c'est-à-dire 3 F la minute; avec un simple retard moyen de deux minutes et demie, les déviations sont encore payées, car cela représente 75 millions. Et ce retard moyen de deux minutes et demie il faut le calculer, pendant dix-huit mois en comparant la situation des chicanes à la situation des déviations et pendant un an, l'année que nous vivons en ce moment, en comparant la situation des chicanes et le carrefour en service.

Donc, je crois que les déviations sont doublement payées. Et encore, il n'a pas été tenu compte des économies faites par les concessionnaires et par les P.T.T. grâce à l'emprise que nous leur offrons.

Les déviations sont donc payées, d'une part, par l'économie réalisée sur les travaux, d'autre part, au moins pour autant par l'économie générale.

M. Le Président. — Nous allons passer à la présentation du film que l'Entreprise Quillery a fait établir des travaux et qui vous montrera, d'une manière encore plus concrète, la façon dont les travaux ont été conduits.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

JUILLET-AOUT 1956

Neuvième Année, Nos 103-104.

Série : Béton. Béton armé (38)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 27 MARS 1956

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. R. L'HERMITE**,

Délégué général des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

LES DIVERS PROCÉDÉS D'ACCÉLÉRATION DE LA PRISE ET DU DURCISSEMENT DES BÉTONS APPLICABLES A LA PRÉFABRICATION

par **M. J. BROCARD**,

Ingénieur-Docteur,

Chef de Service au Centre Expérimental de Recherches et d'Études
du Bâtiment et des Travaux Publics.

SOMMAIRE

	Pages
Phénomènes de prise et de durcissement	711
Structure des pâtes de ciment durcies	712
Accélération de la prise	713
Accélération du durcissement	714
a) Catalyseurs d'hydratation	714
b) Action de la chaleur	715
c) Action de la chaleur à la pression ordinaire	715
d) Action de la chaleur sous pression de vapeur	717
e) Obtention très rapide de résistances suffisantes pour le démoulage	721

PRÉSENTATION DU PRÉSIDENT

Il y a quelques années, à peu près huit ans, M. Brocard avait fait, à l'Institut Technique du Bâtiment et Travaux Publics, une conférence sur un sujet presque analogue à celui qu'il a traité ce soir. Déjà, à la demande des entrepreneurs, nous avions étudié quels étaient les procédés possibles pour accélérer le durcissement du béton. Cette première étude avait surtout pour but de déterminer les réactions des principales classes de ciments devant ces différents procédés. Ce problème n'est pas complètement résolu et je vous rappellerai, pour l'histoire, qu'un des premiers qui se soit préoccupé du durcissement du béton par la chaleur, a été M. Freyssinet qui nous a, un jour, à l'Institut Technique, fait une conférence sur ce sujet.

C'est encore à la demande des entrepreneurs, et en particulier à la demande de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé, qui se préoccupe beaucoup des questions de préfabrication et des possibilités industrielles qui seraient largement facilitées par une accélération de la prise et du durcissement que nous avons, une fois de plus, repris au Laboratoire, il y a environ six mois, cette question. M. Brocard va vous donner aujourd'hui le résultat de ses travaux.

M. Brocard a envisagé plusieurs possibilités : la chaleur, les agents chimiques et la combinaison possible de la chaleur et des agents chimiques.

Le chauffage sous pression de vapeur permet d'obtenir des résistances qui, vous le verrez tout à l'heure, peuvent dépasser sans difficulté 1 000 kg/cm² au bout d'une dizaine d'heures. Ceci peut nous donner des produits qui se rapprochent de la fonte.

Les agents chimiques et leur combinaison avec le chauffage sans pression donnent des résistances plus faibles, mais suffisantes pour permettre une manipulation au bout d'un temps très court, une demi-heure par exemple.

Voilà donc les deux pôles entre lesquels nous avons tourné et je donne maintenant la parole à M. Brocard qui va vous exposer le détail de ses essais.

RÉSUMÉ

Après avoir rappelé brièvement les idées fondamentales sur la théorie de la prise et du durcissement ainsi que sur l'accélération de ces phénomènes, l'auteur donne des indications sur les résultats pratiques que l'on peut attendre des techniques actuelles, lorsque l'on désire obtenir des démoulages rapides :

1° Les catalyseurs d'hydratation des ciments (accélérateurs de prise) employés seuls ne paraissent pas permettre un gain de démoulage appréciable.

2° La chaleur humide à la pression atmosphérique permet d'obtenir des démoulages rapides (une heure environ) sur pièces minces. Un cycle d'étuvage de 8 à 10 heures fournit des pièces directement utilisables.

3° La chaleur humide sous pression permet d'obtenir des bétons à très haute résistance (résistance à la compression 1 000 kg/cm²). Elle permet également d'obtenir en quelques heures des produits pouvant être immédiatement utilisés pour la construction et possédant une stabilité de dimension remarquable.

4° L'action combinée de la chaleur et des accélérateurs de prise permet le démoulage ultra-rapide (1/2 heure) de pièces minces.

5° Enfin pour les pièces épaisses, des démoulages ultra-rapides du même ordre peuvent être obtenus par les mélanges ciment Portland-ciment aluminieux.

SUMMARY

After having referred briefly to the fundamental ideas on the theory of setting and hardening and on the acceleration of these phenomena, the author gives details of the practical results that may be obtained from existing techniques when rapid removal from moulds is required.

1° Cement hydrating catalysers (setting accelerators) used alone do not seem to give an appreciable gain of time in removal from moulds.

2° Damp heat at atmospheric pressure permits rapid removal from the moulds (1 hour, about) on thin elements. A steam curing cycle of 8 to 10 hours produces elements which can be used immediately.

3° Damp heat under pressure allows concretes of very high resistance to be obtained (compression resistance greater than 132 lbs/c. inch.) This method also permits the fabrication of elements which can be immediately used in construction and which possess a remarkable dimensional stability.

4° The combined action of heat and accelerators for setting permits ultra-rapid removal from the moulds (1/2 hour), of thin elements.

5° Finally, for pieces of thick section, ultra-rapid removal from the moulds may be obtained by mixings of Portland and aluminous cements.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

EXPOSÉ DE M. J. BROCARD

La nécessité de construire plus vite et meilleur marché maintient d'actualité les techniques d'accélération de la prise et du durcissement des bétons. Ces dernières dont on a beaucoup parlé depuis la fin de la guerre n'ont pas connu en France le succès qu'elles ont obtenu dans plusieurs pays étrangers. Néanmoins des exemples récents ont montré que ces techniques étaient parfaitement valables en France et c'est pourquoi l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* a demandé au *Centre Expérimental* de faire un point rapide de la question.

Je n'ai pas en effet la prétention de traiter un sujet aussi vaste en une heure et j'essayerai simplement de vous donner les idées directrices du problème ainsi que les principaux résultats actuellement acquis.

Au mois de novembre dernier, M. l'Inspecteur Général DURIEZ vous a exposé des idées originales extrêmement intéressantes sur les possibilités d'emplois de germes cristallins; les résultats qu'il obtient sont surtout intéressants sur les liants hydrauliques de résistance mécanique modeste, les chaux hydrauliques par exemple; cependant on remarque aussi des améliorations sur les mortiers de ciment à partir de sept jours.

Le sujet que nous nous proposons de traiter aujourd'hui est différent puisqu'il intéresse les résistances mécaniques aux très faibles durées, en particulier dans le cas de pièces préfabriquées. On sait qu'il est alors très intéressant de réduire les jeux de moules car cela permet des économies d'autant plus considérables que les démoulages sont plus rapides.

Ceci étant posé, je crois qu'il est bon, avant toute chose, de rappeler brièvement les idées actuelles sur la prise et le durcissement, ainsi que sur la constitution des ciments durcis.

LES PHÉNOMÈNES DE PRISE
ET DE DURCISSEMENT

On sait depuis LE CHATELIER que la prise est due à la cristallisation de sels hydratés résultant d'une combinaison entre les constituants anhydres du ciment et l'eau de gâchage.

Le début et la fin de prise sont définis par des essais empiriques à l'aiguille de Vicat que la plupart d'entre vous connaissent bien. Le début de

prise correspond à une brusque augmentation de la viscosité de la pâte due à une précipitation massive d'hydrates, on note en même temps une élévation rapide de la température. La fin de prise correspond au moment où la pâte ne se déforme plus sous des efforts modérés et où la température atteint un maximum.

La théorie du durcissement a été donnée également par LE CHATELIER qui a indiqué que ce phénomène était constitué par la continuation dans le temps du processus d'hydratation du ciment ainsi que par le développement des forces d'adhérence des cristaux entre eux ainsi qu'avec les agrégats mélangés au ciment.

Ces forces d'adhérence et leur développement sont difficiles à définir, c'est pourquoi le durcissement est un phénomène complexe qu'il est mal commode d'analyser.

Au début les liaisons entre solides se font par l'intermédiaire d'une lame d'eau et les forces capillaires peuvent être considérées comme prépondérantes. On peut admettre qu'ensuite ces forces vont en augmentant par suite de l'augmentation du nombre de capillaires dus au développement de l'hydratation ainsi qu'à une éventuelle diminution de leurs dimensions. Puis l'eau s'en allant petit à petit, il faut envisager une cohésion due à des forces de liaisons physiques du type VAN DER WALS par exemple ainsi qu'à des liaisons chimiques beaucoup plus solides, pouvant même atteindre la cohésion interne du cristal lorsque deux plans réticulaires superposables viennent en contact.

De toutes façons, quelle que soit la nature des forces d'adhérence, il y a intérêt à obtenir le plus grand développement de surface possible car même une très faible adhérence par unité de surface multipliée par un grand développement de surface donnera tout de même une forte cohésion.

La théorie cristalloïdale de LE CHATELIER a été longtemps combattue par les tenants de l'hypothèse colloïdale de MICHAELIS selon laquelle le durcissement des ciments et leur résistance à l'eau étaient dus presque exclusivement à la formation de produits d'hydratation colloïdaux.

Il était d'autant plus facile de soutenir cette théorie qu'il n'était pas possible avec les moyens optiques de l'époque de mettre en évidence l'existence de cristaux de silicates de calcium hydratés

qui devaient être théoriquement les constituants prépondérants des ciments durcis. Cependant, LE CHATELIER insistait sur le fait que de nombreuses analogies empêchaient de nier leur existence.

Il avait bien raison car des études aux rayons X déjà très anciennes ont montré que les silicates de chaux prenaient bien une structure cristalline. Ceci m'amènera à dire quelques mots de la structure des pâtes de ciment durcies.

STRUCTURE DES PÂTES DE CIMENT DURCIES

Il est très difficile d'obtenir une image correcte de la structure des pâtes liantes durcies. En effet, ces études se font sur des lames minces qu'il est déjà difficile d'obtenir sur les ciments, et le microscope optique ne révèle qu'un gel qui paraît amorphe.

Le pouvoir séparateur du microscope optique étant insuffisant, on a essayé depuis une quinzaine d'années déjà d'employer le microscope électronique.

Avec cet appareil on ne peut pas utiliser les lames minces, ce qui a conduit à opérer sur des suspensions, c'est-à-dire à utiliser des rapports $\frac{\text{eau}}{\text{ciment}}$ élevés très supérieurs à la normale.

La plupart des chercheurs qui ont employé cette technique ont trouvé des formes de cristallisation analogues à celles indiquées par la figure 1.

Beaucoup en ont conclu, un peu trop hâtivement que les silicates de chaux cristallisaient en longues aiguilles pouvant se rassembler en bottes ou en tubes. Il paraît plus vraisemblable de penser que les grandes aiguilles remarquées sur toutes ces micro-photos électroniques généralement remarquables étaient tout simplement du sulfo-aluminate de chaux.

Cependant ces dernières années des progrès assez considérables ont pu être faits en particulier grâce aux études du Bureau des Standards américain et de l'Ecole du Professeur BERNAL en Angleterre.

L'équipe du Bureau des Standards a effectué des hydratations totales de silicates tricalcique et de ciment Portland dans des petits broyeurs à billes. Les produits d'hydratation dispersés aux ultrasons ont montré, à côté de larges plaquettes d'hydrate de chaux, de très nombreuses petites particules sphériques de 50 à 200 Å de dia-

mètre, des résultats à peu près analogues étant obtenus sur les silicates de chaux (fig. 2 A et B) et sur le Portland (fig. 3).

Ces résultats recoupent ceux de BERNAL et de son école qui, après des études menées d'une façon tout à fait différente par des voies chimiques et radiocristallographiques, ont trouvé que les silicates de chaux hydratés étaient constitués par des fibres cristallines de 50 à 200 Å de longueur ayant



FIG. 1.

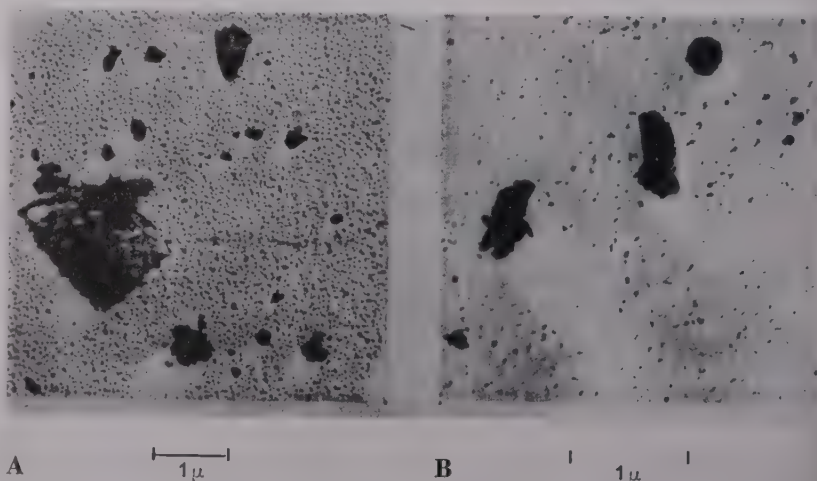


FIG. 2.

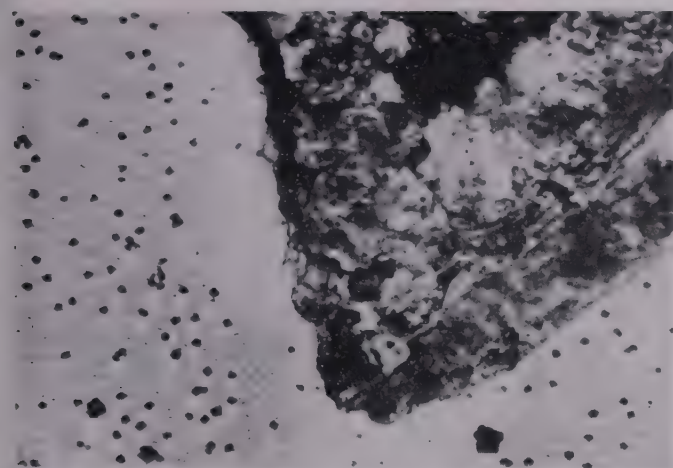


FIG. 3.

tendance à former des sphérolites de même diamètre.

Un autre recoupement intéressant est donné par les conclusions des études un peu plus anciennes sur l'adsorption qui ont donné 140 Å comme dimension des particules élémentaires de la pâte liante, les interstices étant constitués de canaux de diamètre variant entre 20 et 40 Å.

A la suite de ces différents travaux, il paraît donc permis de se représenter la pâte liante de ciment, constituant essentiel du béton, comme un conglomérat de petites sphérolites de quelques centièmes de micron, formant un gel microcristallin dont l'énorme développement de surface (2,5 millions cm^2/g) entraîne une très forte cohésion assurant la résistance mécanique.

ACCÉLÉRATION DE LA PRISE

Après avoir sommairement précisé les notions de prise et de durcissement, il faut maintenant essayer de voir comment il est possible d'accélérer ces phénomènes, sujet qui nous préoccupe.

Il est relativement facile d'accélérer le début de prise d'un ciment car nous avons dit tout à l'heure que le début de prise correspondait simplement à la première floculation importante d'hydrates. Il est bon de noter d'ailleurs que les clinkers de ciment Portland possèdent généralement une prise très rapide due à la présence d'aluminates tricalciques et que l'on est obligé de les retarder avec une addition de gypse. Ceci conduit à penser qu'il serait peut-être intéressant d'utiliser pour les fabrications accélérées, des ciments ne contenant pas de gypse. L'expérience pratique n'a jamais été

tentée à notre connaissance, sans doute parce que l'on sait que les clinkers purs possèdent une prise très rapide, mais très irrégulière.

L'accélérateur de prise le plus utilisé est généralement le chlorure de calcium. On admet que ce sel augmente la concentration en alcalis de la pâte et entraîne une accélération de la précipitation du sulfoaluminat de calcium à trois molécules de sulfate.

Voici par exemple des chiffres de début de prise d'un C. P. A. 250-315, additionné de chlorure de calcium (essai normal à l'aiguille de Vicat).

		Début de prise en heures
C. P. A. 250-315	3,45
— —	+ 2 % CaCl_2	1,45
— —	+ 5 % CaCl_2	0,30

On voit donc qu'une addition de 2 % de chlorure de calcium réduit le temps de prise de moitié alors que 5 % le réduisent de 7 fois et demi. D'autres chlorures possèdent une action qualitative analogue à celle du chlorure de calcium mais leur action quantitative peut être différente. C'est le cas en particulier des chlorures de sodium, de baryum, d'aluminium, de fer, que l'on peut d'ailleurs utiliser en mélange.

L'alcalinité du milieu jouant un rôle important dans le phénomène de prise, les sels à réaction alcaline ou amenant une libération d'alcalis sont généralement accélérateurs de prise, c'est le cas en particulier des lessives alcalines, des carbonates et sulfates alcalins etc...

On arrive par exemple à obtenir des prises très rapides avec des mélanges de lessive de potasse et de silicate de potasse avec des chlorures alcalins.

Pour prendre un exemple, le mélange suivant :

Lessive de potasse à 36° Bé :	4 kg
Silicate de potasse 28-30° Bé :	0,250 kg
Chlorure de potassium :	0,150 kg

employé à raison de 10 % de l'eau de gâchage donne des débuts de prise de l'ordre de 15 minutes.

Des prises encore beaucoup plus rapides peuvent être obtenues avec les mélanges Portland-Alumineux. Dans ce cas, c'est la chaux provenant de la dissolution du Portland qui provoque la précipitation d'aluminates hydratés.

Des essais anciens effectués indépendamment par Dorsh, Rengade, ainsi que par Miner ont montré que l'on pouvait arriver rapidement à des prises quasi instantanées (fig. 4).

Récemment, nous avons eu l'occasion de trouver les chiffres suivants :

	Début de prise en heures
C. P. A. 250-315	3,45
— — + 20 % Alumineux	0,07
— — + 25 % —	0,02

L'accélération serait donc beaucoup plus importante que ne l'indique la figure 4; il faut remarquer toutefois que l'action accélératrice du ciment alumineux sur le Portland dépend essentiellement de la composition chimique de ce dernier et qu'il n'est pas possible d'établir une règle générale.

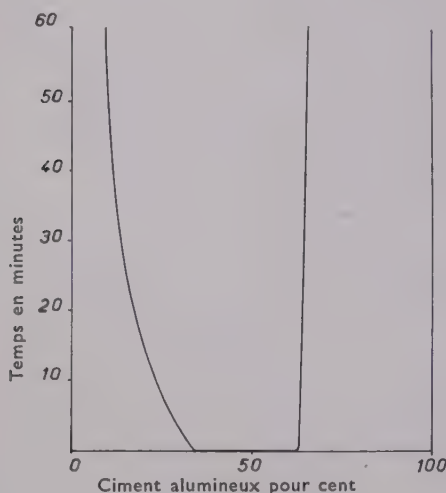


FIG. 4.

Un autre moyen pratique d'accélérer la prise consiste à chauffer le ciment en atmosphère humide de façon à ce qu'il ne perde pas d'eau. La chaleur accélère la dissolution des constituants anhydres et la précipitation des hydrates.

Voici par exemple l'influence de la température sur un Portland.

Température ° C	Début de prise en heures
15	3,15
30	2,40
50	1,15
70	0,30
100	0,15

Ces chiffres montrent que l'action de la chaleur est très sensible et qu'il y a là un moyen pratique intéressant pour obtenir des prises rapides.

ACCÉLÉRATION DU DURCISSEMENT

Nous venons de voir les moyens pratiques d'obtenir des débuts de prise rapides mais ceci n'est pas suffisant car ce que l'on cherche en préfabrication c'est surtout un durcissement appréciable.

Ce durcissement accéléré peut répondre à deux buts différents :

1° Obtenir le durcissement tout juste suffisant pour démouler et manipuler les pièces en libérant ainsi les jeux de moules;

2° Obtenir un durcissement accéléré important permettant l'utilisation pratique presque instantanée des pièces en évitant ainsi le stockage.

Pour accélérer le durcissement, il faudra donc essayer d'agir sur la vitesse d'hydratation, c'est-à-dire sur la vitesse de formation du gel microcristallin constituant la pâte liante. On pourra essayer également d'augmenter la quantité de ce gel en valeur absolue de façon à augmenter les surfaces d'adhérence et à obtenir de fortes résistances, il sera beaucoup plus difficile d'agir sur le développement des forces d'adhérence.

Quels sont les moyens pratiques pour obtenir ces durcissements rapides? Comme pour l'accélération de la prise ce seront les catalyseurs d'hydratation et la chaleur humide.

a) Catalyseurs d'hydratation

Les catalyseurs d'hydratation employés seuls, bien qu'ayant une action très nette sur le durcissement sont généralement insuffisants en préfabrication car ils ne permettent guère de manipulations sérieuses avant un jour.

Des essais déjà relativement anciens de la Ville de Paris avaient donné les résultats suivants sur un béton de Portland vraisemblablement de la classe 160-250 :

Composition du béton :

Cailloux roulés 20/50 :	120 litres
Sable de Loire 0,5/2 :	60 —
Ciment :	30 kg
Eau (e/c = 0,55) :	16,5 litres

AGES	2 j		7 j		28 j		90 j		1 AN	
Chlorure de calcium ajouté	0	2%	0	2%	0	2%	0	2%	0	2%
Résistance à la compression kg/cm ²	67	101	190	202	216	214	266	263	295	313

On peut en conclure que l'action du chlorure de calcium, quoique assez sensible aux jeunes âges, est néanmoins insuffisante pour répondre au problème posé. Il en est de même des autres catalyseurs d'hydratation, chlorures, sulfates, carbonates alcalins etc., il y a cependant une exception à la règle qui est fournie par les additions de ciment alumineux dont il sera question tout à l'heure quand nous parlerons des démoulages ultra-rapides.

b) Action de la chaleur

L'autre moyen pratique d'accélérer le processus de durcissement est, nous l'avons vu, de faire agir la température.

La chaleur accélère très sensiblement la dissolution des constituants du ciment ainsi que la précipitation des hydrates dont le gel microcristallin constitue, nous l'avons vu, la structure du ciment durci; elle accélère certainement aussi le développement des réseaux d'adhérence si bien que suivant certains processus bien déterminés il est possible d'obtenir très rapidement des résistances importantes.

Quand on parle d'accélération du durcissement par la chaleur, il ne faut pas perdre de vue que ce que l'on se propose d'accélérer c'est avant tout une réaction d'hydratation, c'est-à-dire un phénomène de fixation d'eau; il est donc très important que l'opération se fasse en atmosphère saturée d'humidité. Trop de gens parlent de « séchage » du béton et ont l'air de penser effectivement que l'obtention de résistances initiales importantes est conditionnée avant tout par un départ rapide de l'eau. C'est exactement le contraire qu'il faut obtenir, car toute dessiccation prématurée du béton s'accompagne généralement de résistances catastrophiques.

Bien que ce ne soit pas le but essentiel de cet exposé, nous dirons tout à l'heure quelques mots des moyens pratiques qui peuvent être utilisés pour répondre à ces buts.

Nous allons voir maintenant ce que l'on peut attendre au point de vue des résistances initiales du chauffage du béton à la pression ordinaire.

c) Action de la chaleur à la pression ordinaire

La méthode la plus commode consiste à chauffer le béton dans une enceinte où l'on injecte de la vapeur de façon à maintenir l'atmosphère saturante.

Suivant ce mode de travail le premier facteur à déterminer est le choix du ciment. Une étude sur l'action de la chaleur humide sur les ciments, que nous avons faite il y a plusieurs années, nous a

montré que seuls les ciments alumineux et sur-sulfatés ne pouvaient pas s'accommoder du durcissement accéléré par la chaleur.

Toutes les autres catégories de ciment peuvent donner des résultats intéressants y compris les ciments métallurgiques riches en laitier de haut-fourneau. Cependant il semble que ces liants donnent au chauffage des résultats moins constants, c'est pourquoi sans les éliminer il est souvent indiqué de faire quelques essais préalables lorsque l'on désire les utiliser.

De nos anciens essais ainsi que des études effectuées à l'étranger, on a pu conclure que la température la plus intéressante est comprise entre 75 et 80°. Au-dessous l'accélération du durcissement est moins rapide et au-dessus on risque qu'un dégazage important de l'eau de gâchage entraîne des gonflements importants préjudiciables à l'obtention de bonnes résistances.

Voici par exemple des résultats obtenus il y a quelques années sur un béton de gravillon 800/400 dosé à 300 kg/m³ avec un Portland 250/315, chauffage à 80° en atmosphère saturante :

Temps en heures	Résistance à la compression kg/cm ²
2	101
4	125
8	154

Après le durcissement de 8 heures, ce béton saturé d'eau puis conservé dans une atmosphère sèche avait pris au bout d'un an un retrait de 250 microns par mètre, ce qui est assez sensiblement inférieur aux retraits de bétons de composition analogue durcis dans des conditions normales.

Nous avons repris récemment des essais de ce genre sur des bétons de gravillons préparés avec un Portland 250-315 et un Super 355-500.

La composition de ces bétons était la suivante :

Gravier 10/20 :	532 litres
Gravillon 2/5 :	458 —
Sable 0,5/2 :	324 —
Ciment :	350 kg
Eau :	de 150 à 180 l/m ³ suivant les essais.

Les tableaux ci-dessous donnent les principaux résultats obtenus. Voici d'abord les résistances des bétons de références durcis à la température ordinaire confectionnés suivant la formule qui vient d'être donnée (180 litres d'eau) et confectionnés avec un Portland 250-315 et un Super 355-500.

AGE	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kg/cm ²		RÉSISTANCE A LA FLEXION kg/cm ²	
	Portland	Super	Portland	Super
8 heures	0	0	0	0
24 —	17	46	6	13
2 jours	69	127	23	32
7 —	205	325	45	51
28 —	273	369	50	59

Je vais vous donner maintenant les résultats que nous venons d'obtenir ces temps derniers après des étuvages dans la vapeur saturante à 80° et ceci pour des bétons ayant la même composition que les bétons de référence; résultats obtenus tout d'abord en fonction du rapport $\frac{\text{eau}}{\text{ciment}}$ (durcissement d'une heure), puis pour un e/c intermédiaire en fonction du temps pour des périodes comprises entre 1 heure et 8 heures.

EAU de gâchage	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kg/cm ²		RÉSISTANCE A LA FLEXION kg/cm ²	
	Portland	Super	Portland	Super
l/m ³				
180	31	52	< 1	3
170	35	65	2	8
160	38	75	3	12
150	76	113	14	13

Ces résultats montrent en premier lieu que les rapports entre la résistance à la compression et la résistance à la traction sont passablement anar-chiques, nous aurons l'occasion d'y revenir par la suite, ils montrent également que la quantité d'eau optimum paraît se situer entre 150 et 160 l/m³.

Nous avons choisi d'ailleurs 160 l/m³ pour l'étude du durcissement, en fonction du temps de chauffage.

Ceci permet de constater qu'un Super donne des produits démoulables après une heure de chauffage, ce que le Portland 250-315 peut permettre également à la rigueur. Étant donné les dimensions de nos éprouvettes, ces résultats ne sont extrapolables qu'à des pièces dont l'épaisseur ne dépasse pas 10 cm. On remarque également qu'un cycle de

TEMPS	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kg/cm ²		RÉSISTANCE A LA FLEXION kg/cm ²	
	Portland	Super	Portland	Super
1 heure	38	75	3	12
2 —	114	151	18	22
4 —	137	213	23	25
8 —	166	239	26	33

8 heures a fourni des pièces directement utilisables.

Je voudrais dire maintenant quelques mots des moyens pratiques utilisés pour le chauffage du béton à la pression atmosphérique.

Le point le plus délicat est comme je l'ai déjà signalé le maintien de l'atmosphère saturante dans l'étuve de traitement.

En effet, si le ciment n'est pas au contact d'une humidité suffisante, les réactions d'hydratation dont il a été question au début de l'exposé ne peuvent se produire normalement et l'on produit des éléments de béton incorrects.

Le phénomène est d'autant plus dangereux qu'il risque d'être masqué, car lorsqu'il n'est pas parfaitement caractérisé, on risque d'obtenir une résistance à la compression suffisante alors que la résistance à la traction qui souffre plus du phénomène de dessiccation est très faible, on se trouve alors en présence d'éléments d'une grande fragilité.

Il est difficile de maintenir une humidité suffisante au contact des pièces dans un cycle d'étuvage à la pression atmosphérique et cela provient principalement des propriétés thermodynamiques de l'air saturé. Il est facile de voir en effet que les pressions de vapeurs saturantes augmentent très vite lorsque la température s'élève.

Par exemple une étuve à 80° met en œuvre une pression de vapeur saturante de 355,1 mm de mercure, alors que la pression de vapeur saturante n'est que de 17,5 mm à 20°. Si l'on admet cette température à l'extérieur de l'étuve ainsi qu'une humidité relative de 50 % on s'aperçoit que la pression de vapeur à l'intérieur de l'étuve est environ quarante fois plus forte que la pression de vapeur extérieure.

Dans ces conditions l'humidité sera chassée de l'intérieur de l'étuve vers l'extérieur, de sorte qu'il en résultera un déséquilibre entre l'intérieur des pièces de béton et l'extérieur, il s'en suivra une perte d'eau. Le fait de trouver 100 % d'humidité

relative à l'intérieur de l'étuve ne permettra donc pas de conclure qu'il n'y a pas dessiccation du béton puisqu'une partie de l'eau de saturation pourra provenir des pièces.

Des nombreux essais effectués en particulier aux États-Unis ont montré que la méthode la plus indiquée consiste à chauffer les enceintes à la vapeur vive sans introduction de chaleur ou d'humidité additionnelles.

La chaudière étant l'élément le plus important dans le procédé de traitement à la vapeur vive, différents types ont été étudiés et l'on a trouvé qu'il y avait avantage à utiliser une chaudière à tube de feu à grande capacité d'eau et à grande surface de chauffe plutôt qu'une chaudière à tube d'eau ou du type bouilloire. La grande capacité d'eau réduit la concentration en éléments tartrants pour une période de temps donnée et plus la surface de chauffe est grande plus le dépôt de tartre durant cette période est mince, il en résulte une plus grande efficacité de la chaudière.

D'autre part, il est indispensable de construire et d'isoler les conduits de façon que la vapeur sorte des éjecteurs à l'état sec et saturé.

Les éjecteurs à employer dépendent du chargement intérieur et de la forme de l'étuve. L'allure de l'éjection dépend du diamètre de l'éjecteur et de la pression en aval du jet. Pour fixer les idées, voici quelques chiffres donnant des renseignements sur l'influence du diamètre de l'éjecteur sur la pression et sur la vitesse pour maintenir un débit de 612 kg de vapeur à l'heure.

Diamètre de l'éjecteur en mm	Pression absolue à l'éjecteur en kg/cm^2	Vitesse de la vapeur en m/s
25,4	2,1	258
31,8	1,4	225
38	1,2	178
50,8	1,1	122

(Mansfield).

D'autres essais ont montré qu'il était préférable d'éviter d'introduire la vapeur par un gros éjecteur situé au sommet de l'étuve, il est plus indiqué d'utiliser une série de petits éjecteurs situés dans le bas, fonctionnant sous une pression communi-



FIG. 5.

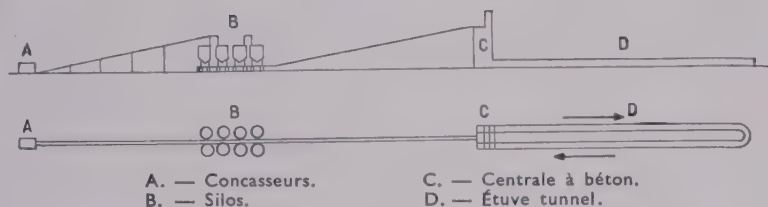


FIG. 6.

quant à la vapeur assez de vitesse pour créer dans l'étuve une circulation suffisante.

La figure 5 montre la photographie d'une usine américaine produisant 20 000 blocs de maçonnerie par 24 heures. La figure 6 donne le schéma d'une autre usine de même importance utilisant une étuve de 120 m de longueur, fonctionnant en régime à 88°.

Il est à noter que dans ces fabrications les Américains ne cherchent pas seulement des durcissements accélérés pour démoulages rapides, ils désirent surtout obtenir des résistances suffisantes pour que les pièces soient pratiquement utilisables à la sortie de l'étuve ou tout au moins ne demandent qu'un temps de stockage minimum de 24 à 48 heures, aussi le cycle d'étuvage dure-t-il généralement une quinzaine d'heures.

Un autre moyen d'obtenir des durcissements accélérés et des fortes résistances consiste à chauffer le béton sous pression de vapeur et ceci m'amène à vous parler maintenant des traitements à l'autoclave.

d) Action de la chaleur sous pression de vapeur

On a eu depuis très longtemps l'idée de traiter les mortiers et bétons par la vapeur d'eau sous pression. On trouve généralement qu'un traitement

très court peut nuire aux résistances mais qu'un traitement plus long donne très souvent des résistances supérieures à celles obtenues à la température ambiante.

Les résistances médiocres aux âges très courts sont attribuées à la transformation des aluminates hexagonaux en aluminat cubique et les résistances supérieures à la normale obtenues en prolongeant le traitement paraissent dues surtout à la formation d'autres variétés de silicates de chaux hydratés ainsi qu'à une réaction entre les éléments siliceux fins de l'agrégat avec l'hydrate de chaux libéré par la prise du ciment.

La nature des hydrates qui se forment dépend donc essentiellement de la teneur en chaux du milieu.

L'analyse thermique différentielle permet de suivre très facilement les principaux phénomènes qui se produisent durant l'hydratation à l'autoclave.

Pour les mélanges riches en chaux, on remarque la formation du silicate bicalcique C_2SH α signalé depuis longtemps par Thorvaldson et qui présente un crochet endothermique entre 470 et 480° (fig. 7).

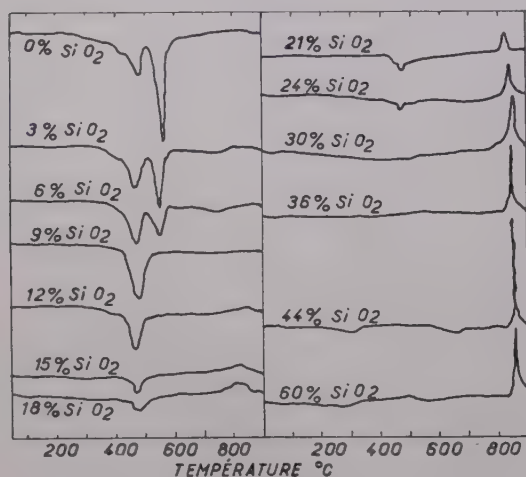


FIG. 7.

Quand on ajoute de la silice dans le mélange sous forme d'agrégats ordinaires ou mieux sous forme très divisée, les courbes montrent une diminution progressive de la teneur en chaux libre caractérisée par un crochet endothermique vers 560°. Puis au fur et à mesure que la teneur en silice augmente, la phase silicate bicalcique diminue également et l'on voit apparaître un crochet

exothermique entre 840 et 850° qui se transforme en pic aigu dont l'amplitude maximum correspond à une addition de 45 % environ de silice dans le ciment. On a remarqué en fait que le maximum de résistance mécanique se situait bien pour des dosages en silice compris entre 40 et 45 %. Voici par exemple des résultats que nous avons obtenus sur des mortiers additionnés de sable siliceux fins et autoclavés 8 heures sous 10 kg de pression.

% de sable siliceux fin	Résistance à la compression kg/cm ²
0	480
10	530
20	770
40	810
60	510
80	210

Ces résultats recoupent donc parfaitement les observations théoriques.

Le silicate hydraté qui constitue la nouvelle phase prépondérante du mortier durci possède un rapport $\frac{CaO}{SiO_2}$ compris entre 0,8 et 1,3.

Ce corps possède à très peu de chose près le même diagramme de diffraction de rayons X que les produits hydratés à la température ordinaire mais il est cristallisé en particules plus grosses.

Des essais effectués récemment aux États-Unis par Kalousek ont montré que ce silicate possédait une texture fibreuse (fig. 8).



FIG. 8.

Lorsque l'on prolonge le traitement à l'autoclave, on observe une évolution importante et les cristaux fibreux se transforment en cristaux lamellaires (fig. 9) de composition $C_4 S_5 H_5$ donnant le diagramme de diffraction de rayons X de la tobermorite.



FIG. 9.

Ceci est extrêmement important car ce sont les produits autoclavés contenant la tobermorite comme phase principale qui possèdent les résistances mécaniques les plus élevées tout en donnant également les retraits les plus faibles.

Cette question de retrait est très importante et l'on se demandait jusqu'à présent pourquoi certains produits autoclavés donnaient des retraits élevés alors que d'autres possédaient une stabilité remarquable. Les études récentes de Kalousek semblent montrer que pour éviter les forts retraits il suffit d'autoclaver les produits suffisamment longtemps de façon à transformer les silicates hydratés en tobermorite. Des essais systématiques ont montré également que la silice sous forme de quartz permet d'obtenir la transformation la plus rapide.

On admet à l'heure actuelle que le retrait est dû principalement à l'eau qui se trouve dans les cristaux sans être liée chimiquement : (interlayer water); le départ de cette eau s'accompagne généralement d'un rétrécissement des cristaux dans une direction déterminée, phénomène que l'on peut mesurer aux rayons X. Ceci est précisément le cas des cristaux fibreux dont j'ai parlé tout à l'heure alors que la tobermorite n'est pas sujette

au phénomène. On donne ainsi une explication satisfaisante des phénomènes et des anomalies de retrait dans les produits autoclavés.

Je vais essayer de vous donner maintenant quelques exemples :

Pour obtenir des résistances élevées il faut donc utiliser une pression suffisante (au moins 8 atmosphères), avoir un mélange riche en silice (40 % environ du poids de ciment) de préférence sous forme de quartz et autoclaver un temps suffisamment long de façon à obtenir une transformation complète. La vitesse de transformation dépend surtout de la variété de silice utilisée mais de toutes façons, le temps d'autoclavage ne peut pas descendre au-dessous de huit heures lorsque l'on veut obtenir la transformation totale en tobermorite.

Nous avons préparé au laboratoire avec des agrégats de quartzite, des bétons dosés à 400 kg de Super ciment et contenant 160 kg de silice quartzreuse fine (5 % de refus au tamis de 4 900 mailles) avec un $e/c = 0,40$. Pour différents temps d'autoclavage sous 10 kg de pression les résultats suivants ont été obtenus :

Temps en heures	Résistance à la compression en kg/cm^2
2	780
4	1 010
8	1 240

Je suis d'ailleurs persuadé qu'en étudiant spécialement les conditions de mise en place il serait possible d'obtenir des résistances supérieures. Il est bon de signaler également que le retrait du béton autoclavé 8 heures était au bout d'un an de 220 microns par mètre, ce qui est très sensiblement inférieur à la moyenne des retraits observés habituellement sur les bétons.

Je vous donnerai maintenant quelques chiffres résultant d'études américaines effectuées sur des blocs de maçonnerie autoclavés, les uns confectionnés avec des agrégats classiques, sable et gravillons, les autres avec des agrégats d'argile expansée ou des agrégats cendreaux.

Ces chiffres montrent que pour leurs blocs de maçonnerie les Américains ne cherchent pas de résistances mécaniques très élevées, parfaitement inutiles dans ce cas; ils s'arrangent pour obtenir en quelques heures les résistances définitives de blocs ayant un retrait faible ainsi qu'un coefficient de dilatation thermique bas. Ces deux facteurs concourent à la stabilité des maçonneries en évitant les fissures.

1) Béton de gravillon

Chaque chiffre représente la moyenne de trois résultats :

DENSITÉ apparente	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la traction kg/cm ²	RETRAIT μ/m	COEFFICIENT de dilatation thermique $\times 10^{-6}$
2,08	150	17	127	5,6
2,17	301	27	215	6,4
2,07	93	12	138	4,1
2,22	210	27	148	3,6

2) Béton d'argile expansée

Chaque chiffre représente la moyenne de trois résultats.

DENSITÉ apparente	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la traction kg/cm ²	RETRAIT μ/m	COEFFICIENT de dilatation thermique $\times 10^{-6}$
1,45	89	11	191	3,9
1,29	66	9	197	3,7
1,30	76	13	228	3,5

3) Béton d'agréats de machefer

DENSITÉ apparente	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la traction kg/cm ²	RETRAIT μ/m	COEFFICIENT de dilatation thermique $\times 10^{-6}$
1,50	77	11	180	2,3
1,51	78	13	242	2,8
1,41	73	11	207	3,0
1,43	78	11	304	3,0

Des essais effectués sur des blocs de même composition, les uns durcis 12 heures dans la vapeur à 77°, les autres à l'autoclave à 177° ont démontré l'avantage de l'autoclave au point de vue du retrait.

Les installations américaines de durcissement à l'autoclave sont généralement très importantes.

La figure 10 donne la vue d'un atelier dans une usine de l'Oklahoma produisant 20 000 blocs de maçonnerie par jour. Cette usine utilise cinq autoclaves analogues à ceux représentés sur la figure et qui ont 30 m de long et 2,5 m de diamètre.

SÉRIE	RETRAIT EN MICRONS PAR MÈTRE	
	Durcissement dans la vapeur à la pression atmosphérique	Durcissement à l'autoclave
A	560	226
B	430	300
C	470	270

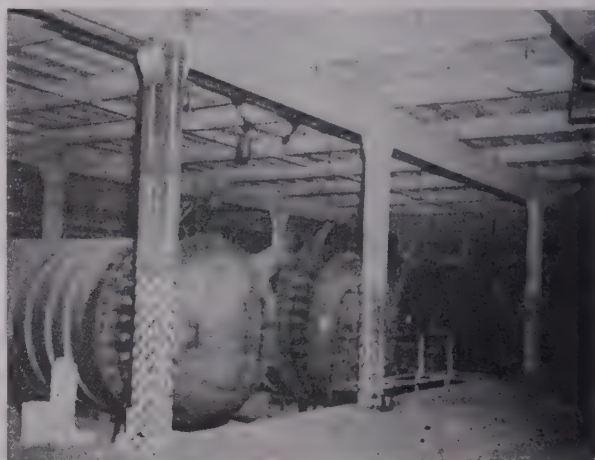


FIG. 10.

La pression de fonctionnement est de 10 kg/cm² et le cycle opératoire dure 12 heures de la fermeture à l'ouverture des portes des autoclaves.

Il existe d'autres installations pouvant même dépasser 20 000-unités par jour, les figures 11 et 12 présentent des vues d'une usine possédant six autoclaves de 35 m de long et de 2,5 m de diamètre. Là encore la pression utilisée est de 10 kg/cm² et le cycle de traitement dure une dizaine d'heures. Vingt quatre heures après, les agglomérés sont livrés à la consommation.

D'après les résultats que j'ai pu avoir on peut admettre que de tels blocs de béton possèdent en moyenne une densité de 2,15, que leur résistance est comprise entre 200 et 250 kg/cm², qu'ils prendront un retrait définitif inférieur à 200 microns par mètre et que leur coefficient de dilatation thermique est de 6×10^{-6} . Il s'agit donc de matériaux possédant dès leur fabrication une résistance mécanique largement suffisante pour les travaux de maçonnerie et présentant une stabilité de volume remarquable.

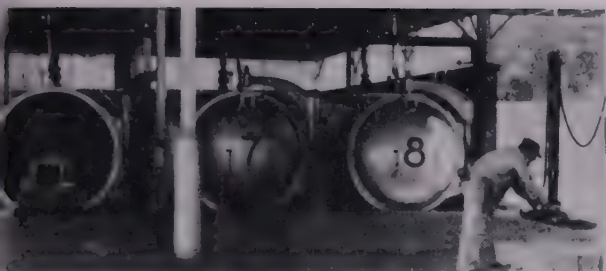


FIG. 11.



FIG. 12.



FIG. 13.

Je dois signaler que toutes les installations américaines utilisant la vapeur sous pression n'ont pas la puissance de celles que je viens de décrire; il existe également des installations beaucoup plus modestes possédant un ou deux autoclaves.

Tous les résultats que j'ai indiqués jusqu'à présent pour intéressants qu'ils soient ne paraissent pas susceptibles de répondre parfaitement à tous les désirs des entreprises françaises car ils intéressent surtout les blocs de maçonnerie. Or, il existe en France des préfabrications de pièces plus importantes et plus compliquées pour lesquelles il serait très intéressant, pour des raisons d'économie d'obtenir des démoulages ultra-rapides. Ceci nous a conduit à étudier des procédés d'accélération combinés dont je vais maintenant vous parler.

e) Obtention très rapide de résistances suffisantes pour le démoulage.

L'expérience de chantier a montré qu'à partir d'une résistance mécanique de 30 kg/cm^2 à la compression, il était possible de démouler et de manipuler des pièces même compliquées, ceci étant une limite inférieure, on peut estimer qu'à partir de 50 kg/cm^2 on possède une sécurité suffisante.

Un chauffage dans la vapeur à 80° pendant une heure permet le démoulage, tout au moins pour des pièces dont l'épaisseur maximum ne dépasse pas 10 cm . Étant donné les dimensions de nos éprouvettes, tous les résultats que nous donnons ne sont valables que pour des pièces de ce genre. Au bout d'une heure on obtient en effet les résistances suivantes (même composition de béton que précédemment) :

QUANTITÉ d'eau l/m^3	CPA 250/315		SUPER 355/500	
	Résistance à la compression kg/cm^2	Résistance à la flexion kg/cm^2	Résistance à la compression kg/cm^2	Résistance à la flexion kg/cm^2
180	31	1	52	3
170	35	2	115	14
160	38	3	146	17
150	76	14	113	16

Ces résultats montrent que le e/c est très important et que l'on peut avoir assez facilement des résistances suffisantes pour le démoulage et la manutention au bout d'une heure.

Par contre si l'on désire manipuler des pièces après une demi-heure de traitement, la chaleur n'est pas suffisante. Ceci nous a conduit à étudier

l'action combinée des accélérateurs de prise et de la température.

Des essais déjà très anciens ont montré que la quantité de chlorure de calcium était de 2 % du poids de ciment pour les applications à la température ordinaire et nous avons voulu vérifier si cela restait exact aux températures plus élevées. Pour cela nous avons utilisé un béton possédant la même composition que les précédents et nous avons fait varier la teneur en CaCl_2 de 0 à 10 % par rapport au poids de ciment. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau ci-dessous et sur les figures 14 et 15.

La quantité d'eau de gâchage était de 180 l/m^3 et le traitement a été effectué pendant une heure à 80° .

CaCl ₂ % du poids de ciment	PORTLAND 250-315		SUPER 355-500	
	RÉSISTANCE à la com- pression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la flexion kg/cm ²	RÉSISTANCE à la com- pression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la flexion kg/cm ²
0	31	1	52	3
0,5	11	< 1	43	3
1	7,5	< 1	32	1
2	15	< 1	35	1
3	25	2	60	10
4	33	4	65	13
5	60	11	109	18
7,5	51	12	86	16
10	40	6	30	3

Ces résultats montrent que la proportion optimum se situe vers 5 %. Respectant cette proportion et avec des bétons dosés à 350 kg/m^3 possédant toujours la même composition (160 l/m^3 d'eau de gâchage), nous avons obtenu au bout d'une demi-heure à 80° les résultats suivants :

NATURE du ciment	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la flexion kg/cm ²
Portland 250/315	44	2
Super 315/500	92	14

Pour le Portland, la résistance à la compression permet facilement le démoulage, par contre les manipulations et transports restent aléatoires pour les pièces compliquées, la résistance à la traction étant très faible. Avec le Super il n'y a

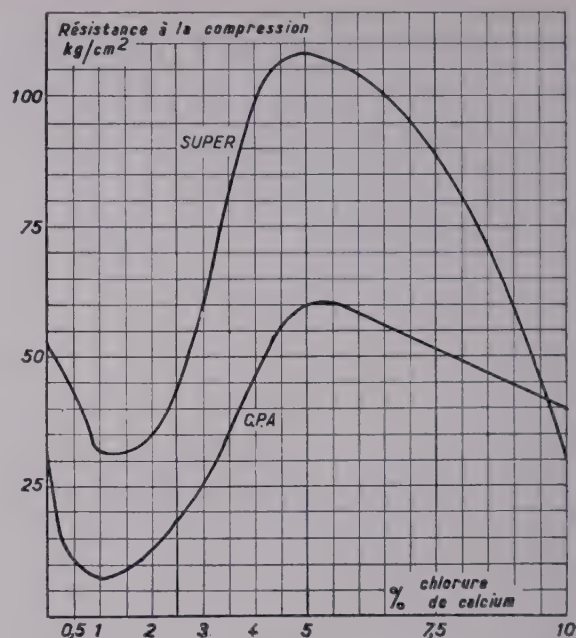


FIG. 14.

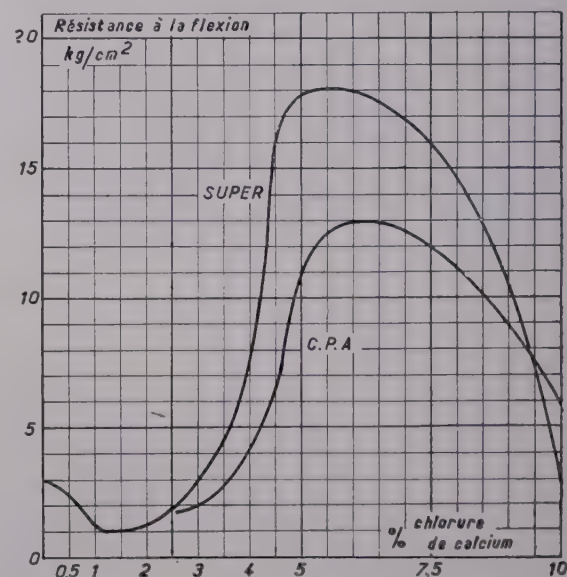


FIG. 15.

pas de problème, la résistance est surabondante et les manipulations sont faciles.

Comme on a déjà pu le remarquer dans les résultats précédents, les rapports entre les résistances à la compression et à la flexion sont très variables et ne présentent pas de relations nettes avec ce que l'on observe pour les durcissements à la température ambiante. Les résultats d'essais sont d'ailleurs beaucoup plus dispersés que ceux des essais courants.

Il faut donc admettre que les durcissements très accélérés conduisent à des matériaux relativement hétérogènes car la très forte accélération des réactions de prise et de durcissement ne doit pas se faire sans anomalies. On peut avoir en particulier des gonflements dont l'origine doit être à la fois chimique par suite des transformations des sulfoaluminates de chaux et physique, par la dilatation de l'air contenu dans le béton et le dégazage de l'eau.

Il y a donc généralement avantage à employer des ciments pauvres en aluminat tricalcique et aussi à ce que la mise en place conduise à des bétons contenant le moins possible d'air occlus.

Il y a un autre moyen que la chaleur pour obtenir des résistances élevées au bout d'une demi-heure, ce sont les mélanges ciment Portland-ciment alumineux. L'idée est très ancienne, mais à notre connaissance les applications pratiques ont toujours été très limitées.

La raison principale que j'ai déjà signalée à propos de la prise est que les réactions qui résultent de ce mélange sont capricieuses.

Les difficultés sont nombreuses et la plus importante réside en ce que les proportions optima du mélange dépendent essentiellement de la composition des ciments en présence, en particulier, du Portland. A chaque fois que l'origine de ce ciment change, il est obligatoire de vérifier par des essais préalables si les données antérieures restent valables.

Pour fixer les idées et avoir un ordre de grandeur des résistances initiales que l'on peut attendre des ciments actuels avec de tels mélanges, nous avons tout d'abord recherché les proportions optima pour le ciment fondu et un Portland 250-315 ordinaire.

Les essais ont été effectués sur un béton ayant toujours la même composition que les bétons précédents, la quantité d'eau de gâchage était de 180 l/m³ et les essais effectués au bout d'une heure.

Les résultats suivants ont été obtenus :

% DE CIMENT fondu dans le mélange	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la flexion kg/cm ²
0	0	0
5	0	0
10	0	0
15	24	6,4
20	34	7,2
25	47	7,1
30	prise très rapide, mise en place impossible	

C'est donc aux environs de 25 % de ciment fondu dans le mélange que l'on obtient les meilleurs résultats.

Nous avons cherché comment variaient les résistances initiales en fonction de e/c et ceci pour des mélanges comportant 20 et 25 % de ciment fondu.

EAU de gâchage l/m ³	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kg/cm ²		RÉSISTANCE A LA FLEXION kg/cm ²	
	20 % de ciment fondu	25 % de ciment fondu	20 % de ciment fondu	25 % de ciment fondu
180	34	47	7,2	13,1
170	41	56	12,2	19,0
160	44	60	13,5	18,5
150	42	68	9,2	23,4

Ces résultats représentant les résistances à une heure, nous avons fait le même travail en cassant les éprouvettes une demi-heure après le gâchage :

EAU de gâchage l/m ³	RÉSISTANCE A LA COMPRESSION kg/cm ²		RÉSISTANCE A LA FLEXION kg/cm ²	
	20 % de ciment fondu	25 % de ciment fondu	20 % de ciment fondu	25 % de ciment fondu
180	22	31	3,5	11,5
170	30	37	6,6	12,7
160	33	47	8,9	14,9
150	25	58	4,4	15,9

Des échantillons contenant 25 % de ciment fondu gâchés à 160 l/m³ ont été conservés dans l'atmosphère du laboratoire puis essayés jusqu'à 28 jours :

AGE	RÉSISTANCE à la compression kg/cm ²	RÉSISTANCE à la flexion kg/cm ²
0 h 30	47	14,9
1 h	60	18,5
7 j	125	25,7
28 j	308	56

On peut voir d'après ces chiffres qu'il est théoriquement très facile d'obtenir au bout d'une demi-heure avec les mélanges Portland-fondu des résistances largement suffisantes pour le démoulage et la manutention des pièces.

Ceci est d'autant plus intéressant que contrairement à ce qui se passe pour les durcissements accélérés par la chaleur, l'épaisseur des pièces ne paraît jouer ici aucun rôle.

Pratiquement la difficulté réside dans le soin qu'il faut apporter au mélange dont les proportions doivent être rigoureusement respectées et dans le temps relativement bref dont on dispose pour mettre le béton en place : 1/4 d'heure environ. Néanmoins nous pensons que si ce procédé n'est pas à retenir pour le chantier il paraît parfaitement applicable en usine.

On remarque également que la courbe de durcissement possède une allure très spéciale. Après un durcissement initial ultra-rapide le phénomène se ralentit brusquement, si bien qu'à 7 jours les résistances sont plutôt inférieures à la normale, par contre à 28 jours tout semble rentrer dans l'ordre. Ces observations importantes demandent bien entendu à être confirmées.

Me voici donc arrivé au terme de cet exposé dans lequel après vous avoir rappelé les idées essentielles sur la prise et le durcissement des liants hydrauliques, j'ai essayé de vous montrer ce que l'on pouvait attendre à l'heure actuelle des différents procédés d'accélération du durcissement des bétons applicables aux pièces préfabriquées de bâtiment. Bien que les études actuellement en cours au Centre Expérimental soient loin d'être terminées je me suis efforcé de vous donner un ordre de grandeur des résistances mécaniques et des retraits des bétons ainsi traités en ayant au besoin recours à des résultats étrangers. Je crois en effet que dans cette matière c'est beaucoup plus ces chiffres que la philosophie du problème qui intéressent les utilisateurs.

Vous avez pu constater en premier lieu que les accélérateurs de prise employés seuls ne pouvaient guère permettre de manipulation sérieuse avant 24 heures. Vous avez vu ensuite que l'étuvage humide pouvait, tout au moins sur pièces minces, permettre des démoulages et des manipulations au bout d'une heure environ, puisque les résistances à la compression peuvent alors dépasser 50 kg/cm². Un cycle d'étuvage plus long (10 à 15 heures), technique souvent utilisée à l'étranger, en particulier aux États-Unis, permet d'obtenir des pièces dont la résistance est presque définitive. Les produits ainsi fabriqués peuvent être immédiatement utilisés et ils présentent en plus l'avantage d'avoir

un post-retrait nettement inférieur à celui des bétons usuels.

Le traitement en atmosphère humide sous pression (autoclave) permet d'obtenir suivant certaines précautions de composition (richesse de l'agrégat en silice finement divisée) et de mise en place (vibration, compression) des bétons dont la résistance peut facilement dépasser 1000 kg/cm², ce qui peut être intéressant pour certains emplois spéciaux. Si l'on ne désire que des résistances normales, le procédé a l'avantage de donner au bout de quelques heures des produits ayant une stabilité de volume (retrait, dilatation) remarquable.

Des démoulages ultra-rapides d'une demi-heure sont possibles sur pièces minces (10 cm) en combinant l'action des accélérateurs de prise et de la chaleur humide. Il est possible d'obtenir suivant ce procédé des résistances qui à une demi-heure approchent 100 kg/cm² à la compression. Pour les pièces épaisses, le procédé ne paraît pas applicable car en une demi-heure les calories n'ont pas le temps de pénétrer à cœur. Néanmoins le problème est résolu par l'emploi de mélange ciment Portland-ciment alumineux qui moyennant certaines précautions peuvent donner au bout d'une demi-heure des bétons dont la résistance à la compression dépasse 50 kg/cm².

Il est bien entendu que d'autres essais, surtout en ce qui concerne les démoulages ultra-rapides sont encore à faire. En particulier on ne sait pas à l'heure actuelle ce que seront les retraits définitifs des bétons contenant 5 % de chlorure de calcium.

J'espère néanmoins vous avoir ouvert des horizons nouveaux et je vous remercie de votre attention.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BERNAL : *Proc. 3rd Int. Symp. Chem. of Cem.* (1952), p. 216-236.
 BOGUE : *P. C. A. F., N. B. S. Paper*, n^o 69 (1954).
 BROCARD : *Ann. I. T. B. T. P., Série M*, n^o 18. janv. 1946.
 BROCARD : *Ann. I. T. B. T. P.*, n^o 12. fév. 1948.
 EASTERLY J. R. : *J. Am. Conc. Inst.*, Vol. XXIII. janv. 1952.
 HANSEN : *J. Am. Conc. Inst.*, Vol. XXIV. avril 1953.
 KALOUSEK, ADAMS : *J. Am. Conc. Inst.*, Vol. XXIII. sept. 1951.
 KALOUSEK : *J. Am. Conc. Inst.*, Vol. XXVI. juin 1955.
 MANSFIELD : *Rock. Prod.* 8, (1948).
 MINSK : *Rock. Prod.* 4, (1953).
 POWERS, BROWNARD : *P. C. A. Bull.* 22 (1948).
 SLIEPCEVICH, GILDART, KATZ : *Ind. Eng. Chem.* 35, 1178 (1943).
 THUILLEAUX : *Rev. Mat.* 435 (1951) 436, 437 (1952).
 WOODWORTH : *Concrete* 8 (1946).

DISCUSSION

M. CAQUOT. — Je voulais simplement signaler qu'il est un procédé très simple qui consiste dans l'utilisation de la chaleur propre du béton. Cette méthode a été utilisée dans des usines de Londres, simplement en faisant passer les pièces dans un tunnel isolé calorifiquement; la chaleur propre du ciment porte la température à plus de 50°C et réduit de plus de la moitié le temps nécessaire pour rendre les pièces utilisables.

La production se fait à la chaîne et les pièces sont durcies au moment où elles sortent du tunnel.

M. DURIEZ. — Tout d'abord, dans un sens analogue à celui que vient de signaler le Président CAQUOT, on peut citer aussi le système qui consiste dans l'emploi de chaux vive pour les agglomérés, pour permettre d'utiliser à la fois la chaleur dégagée et la pression due à l'expansion.

Par ailleurs, je voulais faire quelques remarques. La première concerne la question des germes que M. BROCARD, dans son exposé très clair, a bien voulu signaler.

Je donne quelques renseignements complémentaires sur ce qui a été fait depuis. J'avais demandé à M. LÉZY, Chef de Section au *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, de faire des essais de mortiers à l'autoclave et d'examiner si l'utilisation de germes était intéressante dans ce cas. Les essais ont permis de voir que, sur des mortiers normaux, avec des mélanges de germes préparés à diverses températures entre 20 °C et 100 °C, on obtient des accroissements de résistance en six et huit heures, de plus de 90 %; le durcissement en trois heures d'autoclave est à peu près égal à celui qu'on obtient au bout de six heures sans addition de germes.

Ceci ne signifie nullement que le problème est résolu et puisse entrer immédiatement dans la pratique.

Il faut tenir compte en effet de la complication que comporte la préparation et l'addition des germes.

Nous avons opéré avec un ciment Portland CPA 250/315 très riche en aluminates (de 17 à 18 %).

J'ai demandé à M. LÉZY de bien vouloir reprendre les essais avec des ciments Portland pauvres en alumine et en aluminates, tels que les ciments de la vallée du Rhône, Lafarge, par exemple.

Je signale d'autre part qu'en utilisant des germes préparés à haute température, entre 130° et 180°, au lieu d'avoir une amélioration du simple au double, on a une diminution des résistances qui est, en moyenne, de l'ordre de 35 %.

Ceci montre qu'il y a toujours une action des germes. Mais il faut noter que c'est vers 110° que se fait, pour le ciment Portland, la discrimination entre les germes actifs et bienfaisants et les germes nocifs.

Une autre question qui a été signalée par M. BROCARD, concerne l'examen du ciment au microscope électronique.

M. BROCARD signale, à juste titre, qu'il s'agit de sulfoaluminate tricalcique cristallisé. Nous en avons eu la confirmation également avec des ciments expansifs : ceux-ci présentent une profusion d'aiguilles, ce que l'on ne constate jamais avec l'alumineux par exemple.

Mais je signale que d'autres cristaux que le sulfoaluminate de calcium sont susceptibles de former des aiguilles.

Les microcristaux se mettent facilement en mâcles; si on examine les éléments détritiques provenant de roches désagrégées, on retrouve des sphérolithes, avec ou sans spicules, des rubans, et même des chapelets de sphérolithes qu'on ne voit pas dans du ciment.

Il m'a semblé que M. BROCARD faisait une certaine part à la théorie colloïdale. Bien entendu, la théorie colloïdale n'est pas à rejeter entièrement, et il semble même qu'on peut avoir au début coexistence du colloïde et du cristalloïde.

D'ailleurs, dans les colloïdes eux-mêmes, la cohésion n'est pas due uniquement à la juxtaposition de tous les grains, mais à une structure qui ressemble beaucoup à la structure mûlée (réseau tridimensionnel de chaînes micellaires).

Une troisième remarque concerne la question du retrait. Vous avez dit tout à l'heure que les bétons autoclavés donnaient des retraits qui étaient diminués pour les bétons d'agréats légers, je crois.

Je crois me souvenir avoir vu dans la brochure 118 du *Centre d'Études Scientifiques et Techniques du Bâtiment*, que les retraits étaient augmentés pour les bétons légers, par rapport aux bétons de sable et gravillon, de l'ordre de 55 % à vingt-huit jours de durcissement.

Est-ce que les diminutions de retrait dont vous avez parlé sont calculées compte tenu de ces augmentations de 55 % par rapport au retrait normal des bétons ou non?

Enfin, je vous pose peut-être beaucoup de questions, mais j'en ai terminé : en ce qui concerne l'accélération du durcissement au moyen de mélanges de ciment Portland et alumineux : je crois que c'est un très bon système, mais il faut noter que ces mélanges, qui durcissent très vite, ont une tendance, au bout d'un certain temps, à régresser. Cette tendance n'est d'ailleurs pas contestée. Nous avons fait des essais portant sur plusieurs mois; nous avons trouvé des régressions (d'ailleurs assez faibles, de l'ordre de 5 à 10 %).

J'ai encore d'autres remarques, mais je ne les ferai pas, j'ai déjà été trop long.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. Duriez et je vais demander à M. BROCARD de bien vouloir répondre.

M. BROCARD. — En ce qui concerne la première question sur les silicates hydratés, je n'ai pas dit qu'il n'y

avait pas de silicate de chaux hydraté en aiguille; j'ai dit simplement que les aiguilles qu'on voyait sur la photographie n'étaient pas des silicates de chaux hydratés.

M. DURIEZ. — Tout à fait d'accord.

M. BROCARD. — Je suis bien d'accord qu'il existe certainement des silicates de chaux hydratés en aiguille mais ils ne sont sûrement pas de la dimension de ceux représentés sur les microphotographies car on les verrait au microscope optique et l'on n'aurait pas besoin du microscope électronique.

D'après les résultats de Bernal et de ses élèves, on peut admettre que les silicates de chaux hydratés sont des cristaux allongés dont la dimension est de l'ordre de 200 Å; ce sont bien des aiguilles mais qui s'amassent en sphérolithes pour donner vraisemblablement les petites boules que vous avez vues sur les microphotos-électroniques du bureau des Standards qui sont, à mon avis, beaucoup plus vraisemblables que les microphotos publiées jusqu'alors.

M. DURIEZ. — En effet, je suis de votre avis, les aiguilles que nous voyons dans les milieux très dispersés à 30 g par litre, ne sont pas du tout l'image de ce qui se produit dans la réalité, c'est-à-dire aux fortes concentrations en ciment. On pourrait peut-être poursuivre des études au microscope électronique en utilisant les nouveaux microtomes. Il en existe un au laboratoire du Cerchar à Verneuil-sur-Oise, qui permet de réaliser des coupes d'une épaisseur très inférieure au micron, et transparentes aux électrons pour beaucoup de matières.

M. BROCARD. — Bien sûr, si on arrive à faire des lames aussi minces que cela sur le ciment, ce sera sûrement très intéressant.

M. DURIEZ. — Le prix de ce microtome est de l'ordre de 400 000 F, ce qui est accessible aux laboratoires d'étude des matériaux.

M. BROCARD. — Je crois que la deuxième question concernait le retrait. J'ai donné des résultats numériques indiquant des différences de retraits entre des produits de même composition durcis à l'autoclave et à la pression atmosphérique; il ne s'agissait pas de bétons légers mais de bétons de gravillons.

M. DURIEZ. — Je m'excuse, j'avais mal compris, c'est une précision que je demandais et non pas une observation que je faisais.

M. LE PRÉSIDENT. — Et les retraits sont à peu près le tiers de ce qu'ils seraient sur un béton normal, 200 au lieu de 600.

M. BROCARD. — Légèrement au-dessous de 200 microns, de l'ordre de 150 microns par mètre de retrait définitif.

M. LE PRÉSIDENT. — Quelle était la dernière question?

M. BROCARD. — Le ciment alumineux. Je suis d'accord avec M. Duriez, il y a de très vieux résultats américains ou allemands, je ne me souviens plus, qui montrent que les courbes de durcissement redescendent au bout d'un certain temps. Jusqu'à présent, nos derniers résultats ne portent que sur des résistances à vingt-huit jours, malheureusement. Nous allons pour-

suivre, car il semble en effet qu'au bout d'un certain temps on a pour certaines compositions des risques de chutes de résistance. Néanmoins avec les dosages en ciment alumineux que nous préconisons, il semble que de tels risques soient minimes.

M. DURIEZ. — M. LÉZY pourrait donner des précisions, vous avez poussé jusqu'à trois mois au plus.

M. LÉZY. — Un an.

M. DURIEZ. — On n'avait pas trouvé plus de 10 % de régression, ce qui prouve que ce n'est pas catastrophique.

M. BROCARD. — Il faudrait vérifier que cela se stabilise.

M. DURIEZ. — Il suffira de faire des essais de longue durée.

M. JUNNEMANN. — Comment se comportent les armatures lors de l'étuvage à haute pression? Avez-vous fait des observations?

M. BROCARD. — Non, malheureusement. La plus grande expérience en matière de chauffage du béton est l'expérience américaine et les Américains n'autoclavent pas de produits armés, jusqu'à présent, à ma connaissance.

M. LE PRÉSIDENT. — Ce sont des agglomérés.

M. BROCARD. — Qui ne sont pas armés.

M. SUQUET. — Et le chauffage du béton par induction, comme on pratique pour les pièces métalliques? Avez-vous fait des expériences?

M. BROCARD. — Non, j'ai connaissance de chauffage du béton par effet joule, cela se pratique beaucoup en Russie soviétique, paraît-il. On fait passer le courant au travers du béton; le béton frais contient beaucoup d'eau, il est suffisamment conducteur et il s'échauffe par effet joule.

M. BARETS. — Vous avez indiqué les améliorations obtenues par le chlorure de calcium. Les pays nordiques, et la Russie en particulier, utilisent des mélanges de chlorure de calcium et de chlorure de sodium qui sont, paraît-il, plus efficaces. Avez-vous examiné cette question?

M. BROCARD. — Je n'ai pas remarqué que les mélanges chlorure de calcium, chlorure de sodium soient plus efficaces, mais c'est possible, parce que je sais que certains fabricants d'accélérateurs proposent des produits qui sont des mélanges de plusieurs chlorures, et non seulement chlorure de calcium et chlorure de sodium, mais aussi chlorure d'aluminium, chlorure de baryum, etc. Il est possible qu'un mélange de chlorures donne de meilleurs résultats que le chlorure de calcium employé seul.

M. BARETS. — Avez-vous eu l'occasion de vérifier la valeur des formules de NURSE et SAUL du type $(\theta + 10)t = Cte$ (1)? Ces formules sont utilisées dans les pays nordiques.

(1) Dans cette formule θ est la température moyenne de prise et t le temps écoulé avant l'essai de résistance. Un béton durci à 20° pendant 10 jours serait, d'après la formule, égal à un béton durci sous 5° pendant 20 jours.

M. BROCARD. — Je n'ai rien fait de systématique, mais il ne semble pas que cette formule soit vérifiée dans tous les cas.

M. BARETS. — Ces formules ont fait l'objet de discussions sérieuses au Congrès de Copenhague, mais d'après de nombreux essais, semblent valables entre $+ 10$ et $+ 30^{\circ}$.

M. BROCARD. — Les paramètres du ciment interviennent, la formule n'en tient pas compte. Je crois que c'est une lacune assez importante.

M. BARETS. — La formule en tient compte implicitement puisque comparant entre eux des bétons durcis sous des températures différentes.

M. REBUT. — Je me permets d'attirer votre attention sur le chauffage des bétons dans des moules clos. Les fabricants de poutrelles, poteaux et canaux précontraints, utilisent le procédé suivant :

Le béton est coulé sous vibration dans des moules qui, après fermeture complète, sont introduits dans des étuves chauffées par la vapeur d'eau à une température voisine de 100° , et ceci pendant une heure et demie à deux heures. Après ce temps, le béton acquiert une résistance à la compression de 200 à 300 kg, ce qui permet la libération des ancrages de fils tendus et la mise immédiate en compression du béton.

Les résistances obtenues sont donc nettement supérieures à celles que donne le chauffage pendant huit heures dans des étuves à 80° .

Il est vrai, par contre, qu'un chauffage du béton dans une étuve à 100° , mais dans des moules non fermés, conduit à une désagrégation du béton; il peut se produire dans la masse, non seulement des phénomènes de vaporisation, mais surtout des phénomènes d'évaporation qui, desséchant le béton, suppriment les possibilités de prise.

On devrait, à mon avis, pouvoir empêcher cette évaporation par une pression qui ne soit pas aussi élevée que celle utilisée dans les autoclaves. Il est tout à fait inutile de chauffer à 120° .

Avez-vous fait des essais en introduisant dans une étuve chauffée à 100° du béton soumis à une pression de 500 grammes ou de un kilogramme, pour diminuer les phénomènes d'évaporation?

M. BROCARD. — Bien sûr nous l'avons fait; ce sont des essais à l'autoclave auxquels vous faites allusion.

M. REBUT. — L'autoclave à 120° donne une réaction silico-calcaire, tandis que le chauffage en moule fermé conduit à une prise classique du béton. J'ai remarqué d'autre part qu'un béton chauffé à 80° pendant huit heures n'acquiert qu'une résistance de 150 kg, alors qu'un béton chauffé en vase clos à 100° acquiert, au bout d'une heure et demie une résistance de 300 kg.

M. BROCARD. — Quand vous opérez en moule fermé, c'est un traitement à l'autoclave que vous faites, à 100 ou 110° .

M. REBUT. — Peut-on remplacer le moule fermé par l'emploi d'une pression de 500 g qui est beaucoup plus intéressant que l'emploi d'une pression de 7 à 8 kg?

M. BROCARD. — Nous l'avons fait dans le temps, sur les mortiers. La première étude à laquelle j'ai fait allusion était faite sur mortiers. On a recherché des ciments susceptibles de marcher dans ces cas d'application et nous avons fait des essais à l'autoclave à partir de 1 kg de pression, mais pas à partir de 500 g. A partir de 1 kg on avait des accélérations de durcissement bien plus rapides qu'à 80° à la pression ordinaire. Cela corrobore ce que vous dites.

M. REBUT. Cela évite d'avoir des autoclaves très puissants, parce que 1 kg...

M. BROCARD. — Cela dépend ce que l'on fait.

M. REBUT. — Même si vous faites des briques vous attendrez huit heures au lieu d'une heure et au lieu d'avoir plusieurs autoclaves vous n'en aurez qu'un.

M. BROCARD. — Je ne sais pas s'il n'est pas plus intéressant de chauffer en autoclave qu'en moule fermé pour des petits blocs.

M. REBUT. — Si vous faites un autoclave à 1 kg seulement, sans être en moule fermé... Vous voyez, ce que je voulais dire... Vous nous avez montré des autoclaves à 10 kg et moi, je dis : je veux des autoclaves à 1 kg et j'envoie de la vapeur à 100° , qu'est-ce que ça donne?

M. BROCARD. — Vous aurez des résistances qui ne seront pas et de loin ce qu'elles sont à 10 kg et vous n'aurez pas l'avantage des retraits très faibles.

M. REBUT. — Pour un bloc, pour un parpaing cela n'a pas d'importance.

M. BROCARD. — Même pour un parpaing, je pense qu'il est important d'avoir un retrait faible, cela évite les fissures dans les maçonneries.

M. REBUT. — Scientifiquement, vous croyez que c'est une chose qui en vaut la peine?

M. LE PRÉSIDENT. — Cela a été étudié.

M. BROCARD. — C'est valable.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous le retrouverez dans les anciennes publications.

M. BROCARD. — Mais pas à partir de 500 g, à partir de 1 kg.

M. REBUT. — Vous montez à quelle température?

M. BROCARD. — 1 kg de surpression cela doit correspondre à 120° environ; il faudrait le vérifier dans les tables.

M. DURIEZ. — Encore une question, au sujet des teneurs en chlorure de calcium supérieures à 2 % du poids du ciment. J'ai vu qu'on obtenait des résistances beaucoup plus fortes pour des teneurs de l'ordre de 5 %. Je voudrais rapprocher ceci de deux faits pour répondre à une question posée.

Lorsqu'on a fait des essais de béton au gel, nous avions obtenu, avec une teneur de 3 %, des résultats supérieurs à ceux que l'on obtient avec une teneur de 2 %. Mais il faut, bien entendu, tenir compte de la question du retrait qui, au-delà de 2 % de chlorure de calcium, augmente notablement.

Les Russes, d'après des exposés faits récemment, ont utilisé le chlorure de calcium jusqu'à 10 % du poids de l'eau de gâchage, c'est-à-dire entre 3 et 4 % du poids

du ciment, pour exécuter des bétons en période de gel; n'y a-t-il pas un rapprochement à faire?

M. BROCARD. — Oui. Il ne faut pas quand même oublier que les résultats que j'ai montrés étaient valables pour 80°. Il semble que la quantité optimum de chlorure de calcium à utiliser avec le ciment varie en fonction de la température, c'est-à-dire que pour chaque température il doit exister une proportion optimum de chlorure de calcium; 2 % à 80° c'est catastrophique, les résistances sont plus mauvaises que sans chlorure de calcium du tout. Ensuite les résistances remontent et le maximum a lieu pour 5 % de CaCl_2 ; à 70° on trouverait sûrement autre chose.

M. DURIEZ. — A —20°C c'était également différent.

M. LE PRÉSIDENT. — Avez-vous fait des mesures de retrait sur des éprouvettes traitées à 80° avec 5 %?

M. BROCARD. — Nous le faisons, mais je n'ai pas de chiffres encore.

M. LE PRÉSIDENT. — Est-ce que cela semble important dès maintenant?

M. BROCARD. — Je ne pourrais pas vous le dire.

M. CAQUOT. — A-t-on fait des essais d'homogénéisation initiale des températures en commençant par chauffer les matériaux? Les essais décrits utilisent des éprouvettes fabriquées à froid et chauffées ensuite. Il semble logique, pour les bétons de masse, d'amener initialement les matériaux à la température correspondant à la température optimum. Au point de vue indus-

triel, c'est facile. Avec des machines très simples on fabrique à chaud des bétons bitumineux, et on pourrait de même faire des bétons de ciment sortant du mélangeur vers 80°.

M. BROCARD. — On gagnerait encore du temps et cela permettrait sans doute de traiter des pièces plus épaisses.

M. CAQUOT. — L'homogénéisation de la température est très importante pour ne pas avoir des accélérations de prise et de durcissement différentes d'un point à l'autre. Savez-vous si cette méthode a été utilisée?

M. LE PRÉSIDENT. — Cela a été fait pour des études de béton, destiné aux bétonnages par temps de gel, mais cela n'a pas été étudié pour les durcissements accélérés.

M. BROCARD. — C'est très intéressant, parce qu'on éviterait certains accidents provenant du choc thermique que subissent des pièces qui passent brutalement de la température ambiante à 80°.

M. DURIEZ. — Pour les bétons bitumineux, quand on opère avec des agrégats froids et du liant chaud, on a de mauvais résultats. Il y a un gradient de température élevé et on n'a pas une bonne adhérence.

M. LE PRÉSIDENT. — De toute manière, nous pourrions encore faire des essais. Je vous remercie de votre attention et je remercie M. Brocard, de votre part, pour sa très intéressante conférence.

(Reproduction interdite)

DOCUMENTATION TECHNIQUE

96

RÉUNIE EN AVRIL 1956

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques

Microfilms : la bande de 5 images (port en sus)..... 160 F

Positifs sur papier : la page (port en sus):

Format 9 × 12.....	70 F	Format 18 × 24.....	110 F
13 × 18.....	90 F	21 × 27.....	150 F

Minimum de perception 250 F

Ces prix sont susceptibles de variation.

Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 6, rue Paul-Valéry, Paris-XVI^e.

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.

B. — ARCHITECTURE ET URBANISME

1-96. **Europe. Archit. Auj.**, Fr. (déc. 1955-an. 1956), n° 63, 112 p., nombr. fig. — Numéro consacré aux problèmes européens touchant l'urbanisme et la construction. — Reconstruction de centres urbains : Le Havre, Toulon, Valenciennes, Rotterdam, Coventry, Dortmund. — Aménagements urbains : Paris, Londres, Harlow, Milan, Rome, Copenhague,

Helsinki, Stockholm, Vallingby, Lulea, Vienne, Berlin, Moscou. — E. 40862.
CDU 711.168 : 711.4.

2-96. Numéro spécial du Bulletin mensuel d'Informations de la Société des Architectes diplômés par le Gouvernement. — S.A.D.G., Fr. (déc. 1955), n° 42, 112 p., nombr. fig. — Exposé illustré de nombreuses photographies

de réalisations récentes dans le domaine de la construction de maisons d'habitation, de bâtiments industriels, de constructions scolaires, d'édifices publics et religieux, de bâtiments pour le commerce et le tourisme, de bâtiments hospitaliers. Conservation des monuments historiques. Constructions en Algérie, en Tunisie, au Maroc et à l'étranger. — E. 41121.
CDU 721.

Conformément aux recommandations faites par le Conseil International de Documentation du Bâtiment (C.I.D.B.), les analyses présentées dans la **Documentation Technique** comportent leur indexation suivant les notations de la Classification Décimale Universelle (CDU). Les analyses sont publiées dans la **Documentation Technique** dans l'ordre des rubriques de la classification, du système CORDONNIER, mise au point il y a quelques années pour le rangement du fichier de documentation de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

C. — SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Ca RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

3-96. Leçons sur la résistance des matériaux. — T. I. — Généralités, Propriétés élastiques, essais et conditions d'emploi des matériaux. DREYFUSS (E.); Edit.: Eyrolles, Fr. (1956), 1 vol., 175 p., fig. — Voir analyse détaillée B. 1852 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41131.

CDU 539 3/5 : 624.04 (03).

4-96. Sur les déformations des poutres en arc de formes non-circulaires. (On the deflections of bow girders of non-circular shapes). VOLTERRA (E.); *J. Engng. Mech. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° EM 1, vol. 82, Proc. Pap. n° 870, p. 1-24, 14 fig., 7 réf. bibl. — Déformation des poutres en arc de formes non-circulaires encastrées aux deux extrémités. Cas de la cycloïde, de la chaînette et de la parabole, les forces extérieures étant uniformément réparties sur toute la longueur de la poutre. — E. 40383.

CDU 624.044 : 624.072.32.

5-96. Étude générale de la déformation élastique des voiles minces. LAYRANGUES (M.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (jan.-fév. 1956), n° 1, p. 39-76, 16 fig., 1 réf. bibl. — Étude du vecteur déformation et de ses dérivées. Calcul des déformations angulaires du voile et relations entre ces déformations et les moments. Application au cas des voiles dont la surface médiane est un cylindre droit ou une surface de révolution. — E. 40525.

CDU 539.3 : 624.074.4.

6-96. Sur les moments dans une dalle reposant directement sur des poteaux (Välittömästä pilareilla tuetun laatan momentista). LAASONEN (P.); *Rakennus Insnr.*, Finl. (1956), n° 2, p. 16-19, 8 fig. — E. 41313.

CDU 624.04 : 624.073 : 624.078.5.

7-96. Les tensions résiduelles et leur influence sur le calcul des constructions (Residual stresses and their influence on structural design). O'CONNOR (C.); *J. Instn Engrs Austral.* Austral. (déc. 1955), vol. 27, n° 12, p. 313-321, 15 fig., 10 réf. bibl. — Mesures des tensions résiduelles sur des profilés d'acier utilisés comme éléments de construction, importance de ces tensions sur le comportement de ces éléments. — E. 41218.

CDU 531.7 : 624.043 : 672.

8-96. Étude préliminaire sur les influences combinées dans les bâtiments à étages multiples (A preliminary study of composite action in framed buildings). WOOD (R. H.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 247-265, 16 fig., 15 réf. bibl., (résumés français, allemand). — Influence des murs et des planchers dans l'augmentation de la rigidité des bâtiments à étages. Comportement réciproque des poutres et des planchers et plafonds qu'elles supportent dans les conditions de travail qui correspondent d'une part au domaine élastique et d'autre part au domaine plastique au voisinage de la rupture. — E. 39928.

CDU 624.075.3 : 721.011.26.

9-96. Nouvelle conception de la résistance des matériaux. Torsion, effort tranchant. Synthèse de la mécanique des sols et des solides. Vérifications expérimentales. Application au béton armé et au béton précontraint. COUARD (A.); *Extrait du Génie civ.*, Fr. (mars 1956), 1 broch., 78 p., 34 fig., 2 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1862 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41252.

CDU 539.3/5 : 624.04.

10-96. Vibrations des poutres sur appuis multiples (Vibrations of beams on many sup-

ports). MILES (J. W.); *J. Engng. Mech. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° EM1, vol. 82, Proc. Pap. n° 863, p. 1-9, 3 fig., 10 réf. bibl. — Recherche par la méthode analytique des fréquences naturelles des poutres continues reposant sur un grand nombre d'appuis. — E. 40383.

CDU 534 : 624.072.2.

11-96. La plasticité de l'acier doux, facteur de sécurité. FAUCONNIER (M.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 69-81, 8 fig. — Étude du comportement d'un ouvrage métallique en acier doux, exemple du pont de Passy à Paris qui a subi au cours de son existence des déformations accidentelles importantes sans que son aptitude à supporter les surcharges ait été altérée. Exposé d'une démonstration expérimentale mettant en évidence le phénomène d'adaptation. — E. 39928.

CDU 539.5 : 691.714.

12-96. Bibliographie sur la résistance à la fatigue (References on fatigue). A. S. T. M., U. S. A. (1954), STP n° 9-F, 29 p. — Bibliographie d'articles publiés en 1954 et traitant de la fatigue dans les éléments et matériaux de construction. — E. 40589.

CDU 539.4 : 691 : 69.02.

Cac n Procédés de calcul.

13-96. Méthode générale de calcul des charpentes réticulées (A general method for the analysis of gird frameworks). HENDRY (A. W.), JAEGER (L. G.); *Proc. Instn civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 939-971, 13 fig., 8 réf. bibl. — Description d'une méthode de calcul de charpentes dans lesquelles les éléments sont assemblés rigide-ment et sont appuyés sur deux, trois ou quatre côtés. Comparaison des résultats théoriques avec les valeurs expérimentales obtenues à la suite d'essais sur modèle. — E. 39639.

CDU 624.04 : 624.074.5.

14-96. Détermination de la charge critique d'une charpente en treillis (The estimation of the critical load of a braced framework). ALLEN (H. G.); *Proc. r. Soc.*, G.-B. (19 juil. 1955), Series A, Mathemat. Physic. Sci., vol. 231, n° 1184, p. 25-36, 11 fig. — (Royal Society, Burlington House, Piccadilly, Londres, W. 1, G.-B.). — Présentation d'un nouveau procédé de calcul, ses avantages sur les procédés actuels faisant appel aux méthodes de relaxation. — Le nouveau procédé convient particulièrement pour le calcul de la charge critique des systèmes plans, triangulés, non surabondants, avec joints rigides. — E. 41092.

CDU 624.046 : 624.072.33.

15-96. Le calcul des tensions dans les parois des tuyaux enterrés en acier, en tenant compte de la déformabilité de ces tuyaux et de la contrainte latérale des terres. Essais d'une théorie générale. I, II, III, IV. (fin). SAEDELEER (A. de); *Tech. Eau*, Belg. (15 jan. 1956), n° 109, p. 15-24, 15 fig.; (15 fév. 1956), n° 110, p. 15-22, 10 fig.; (15 mars 1956), n° 111, p. 15-24, 5 fig.; (15 avr. 1956), n° 112, p. 15-20, 3 fig. — E. 40099, 40650, 41111, 41602.

CDU 624.043 : 621.643 : 672 : 624.134.

16-96. Le théorème fondamental du calcul à la rupture (Il teorema fondamentale del calcolo a rottura). FRANCIOSI (V.); *Ingegneria*, Ital. (déc. 1955), n° 12, p. 1353-1360, 9 fig., 4 réf. bibl. — Rappel des deux théorèmes de Greenberg et de Feinberg, recherche d'une formule unique combinant ces deux théorèmes. — E. 40868.

CDU 624.04 : 539.4.

17-96. Le pour et le contre du dimensionnement sans emploi du coefficient d'équivalence

M.-I : Raisons en faveur de l'adoption du procédé de la charge critique. II : Inconvénients du procédé de la charge critique. III (fin) : Discussion (Das Für und Wider der n-freien Bemessung. I. Weshalb Traglastverfahren. II : Nachteile des Traglastverfahrens. III : Diskussion). JAGER (K.), BONATZ (P.); *Beton Stahlbetonbau*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 39-42, 14 réf. bibl.; (mars 1956), n° 3, p. 64-69, 12 fig., 7 réf. bibl.; (avr. 1956), n° 4, p. 89-92, 2 fig., 2 réf. bibl. — Texte de l'exposé présenté au Congrès du Béton à Hambourg le 27 avril 1955. — E. 40573, 41052, 41598.

CDU 624.04 : 693.53.

18-96. La répartition des moments dans les constructions précontraintes statiquement indéterminées, au-delà de la phase élastique (De momenten-verdeling in statisch onvpeaalde voorgespannen constructies voorbij de elastische fase). VISSER (B.); *Cement-Beton*, Pays-Bas (déc. 1955), n° 11-12, p. 279-281, 2 fig., (résumés anglais, français, allemand). — E. 39804.

CDU 624.04 : 693.56 : 539.5.

19-96. Calcul de tuyaux métalliques avec revêtement extérieur et intérieur en ciment (Design of steel pipe with cement coating and lining). COLE (E. S.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 48, n° 2, p. 131-138, 8 fig., 8 réf. bibl. — Étude de canalisations d'eau enterrées. — E. 41044.

CDU 628.14 : 624.014 : 693.5.

20-96. Commentaires explicatifs sur les prescriptions les plus importantes du nouveau règlement hongrois pour le dimensionnement des éléments porteurs des bâtiments (Epületek teherhordo szerkezeteinek méretezésére vonatkozó új magyar eloirások fontosabb rendeltetéseinek magyarázata). MENYHARD (I.); *Tudományos Közlemenyek*, Hongr., (1954), n° 1, p. 1-32, 15 fig., 63 réf. bibl. — E. 40755.

CDU 624.07 : 35.

21-96. Le calcul des barres comprimées (The design of compressed beams). WRIGHT (D. T.); *Engng J.*, Canada (fév. 1956), vol. 39, n° 2, p. 127-130, 5 fig., 5 réf. bibl. — Présentation d'une méthode de calcul des poteaux métalliques. — E. 41145.

CDU 624.04 : 624.072.3.

22-96. Considérations sur le calcul des poteaux préfabriqués de halles en béton armé (Considerațiuni asupra calculului stîpilor prefabricate de hale din beton armat). LASZLO (N.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (jan. 1955), n° 1, p. 44-49, 13 fig., 1 réf. bibl. — E. 35247.

CDU 725.3 : 693.55 : 69.002.2.

23-96. Poutres en caisson à parois minces sollicitées à la flexion simple (Thin walled box beams under pure bending). VASARHELYI (D. D.), KNUDSON (R. O.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 231-245, 12 fig., 8 réf. bibl., (résumés français, allemand). — Présentation d'une formule générale de calcul. La comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs déterminées par des essais montre une concordance satisfaisante entre la théorie et l'expérimentation. — E. 39928.

CDU 624.072.2 : 624.074.4.

24-96. Note sur le calcul des poutres Vierendeel. ROBERT (E.), MUSETTE (L.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 187-197, 9 fig., 1 réf. bibl. — Exposé d'une méthode simplificatrice. — E. 39928.

CDU 624.04 : 624.074.3.

25-96. Calcul par approximations successives des poutres continues en double T soumises à la torsion (Method of successive approximations for design of continuous I beams submitted to torsion). PETTERSON (O.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 167-186, 20 fig., 5 réf. bibl., (résumés français et allemand). —

Procédé de calcul des moments fléchissants qui agissent sur les ailes d'une poutre continue en double T soumise à la torsion aux appuis. — Exemple numérique. — E. 39928.

CDU 624.072.2 : 624.075.3.

26-96. Calcul des poutres continues en béton armé (An investigation of continuous reinforced concrete beams). HANNA (W. S.), BAKHOUM (M.), ABDEL-HADY (H.), HOSNY; *Bull. Fac. Engng., Egypte* (1954-1955), p. 103-128, 21 fig., 1 réf. bibl. — Exposé d'une méthode basée sur la théorie élastique. — E. 40814.

CDU 624.072.2 : 624.075 : 693.55.

27-96. Répartition de la charge dans les poutres de ponts solidaires, compte tenu de la continuité (The load distribution in interconnected bridge girders with special reference to continuous beams). HENDRY (A. W.), JAEGER (L. G.); *Mém. A. I. P. C., Suisse* (1955), 15^e vol., p. 95-116, 7 fig., 5 réf. bibl. (résumés français, allemand). — Présentation d'un procédé de calcul de poutres de ponts offrant une rigidité quelconque à la torsion. Cette méthode repose sur deux hypothèses, à savoir que les éléments transversaux sont réalisés par une liaison continue et que la torsion de ces éléments peut être négligée. — E. 39928.

CDU 624.042 : 624.21.023.9.

28-96. Calcul des poutres bowstring et des arcs à tirant (The design of bow string girders and tied arches). EL-DEMIRDAH (I. A.), KHALIL (H. SH.); *Bull. Fac. Engng., Egypte* (1954-1955), p. 3-35, 36 fig. — E. 40814.

CDU 624.072.2 : 624.072.32.

29-96. Problèmes choisis pour le calcul des dalles (Ausgewählte Plattenprobleme). EL-HASIMY (M. M.); *Mittteil. Inst. Baustatik, Suisse* (1956), n° 29, 96 p., 42 fig., 14 réf. bibl. — Dalle annulaire excentrée. Surfaces d'influence de la dalle circulaire. Dalles rectangulaires avec évidement. — E. 40941.

CDU 624.04 : 624.073.

30-96. Calcul de la charge de rupture des dalles bombées (Die Durchschlagslast von Platten). NYLANDER (H.); Tiré à part de : *Oesterr. Ingr.-Archiv, Autr.* (1955), vol. 9, n° 2-3, p. 181-196, 6 fig., 21 réf. bibl. — Calcul de la charge de rupture de dalles bombées en partant des équations différentielles de dalles initialement déformées à fortes flexions. Dalles rondes et dalles rectangulaires. Exemples. — E. 39822.

CDU 539.4 : 624.073.

31-96. Dalle circulaire à charge isolée (Kreislatt mit Einzellast). TETZLAFF (W.); *Bauplan. Bautech., All.* (fév. 1956), n° 2, p. 62-65, 11 fig., 9 réf. bibl. — Calcul de la dalle circulaire considérée comme un cas particulier de la dalle en forme de couronne circulaire. — E. 40829.

CDU 624.04 : 624.073.

32-96. Statique des constructions en voiles minces (Héjszerkezetek Statikája). KAZMER (S.); *Akadémiiai Kiado, Hongrie* (1953), 1 vol., 207 p., 120 fig., 5 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1873 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 40818.

CDU 624.04 : 624.074.4 (03).

33-96. Calcul des ponts-routes à tablier monolithique (Structural analysis of monolithic girder road bridges). AZIZ GHALI TADROS, AMIN GHALI; *Bull. Fac. Engng., Egypte* (1954-1955), p. 37-56, 15 fig. — Étude des tabliers constitués de dalles et de poutres, assemblés de façon à former un ensemble rigide. — E. 40814.

CDU 624.21 : 624.04.

34-96. Étude théorique et expérimentale d'un modèle de pont en arc constitué d'une voûte mince et d'un tablier agissant comme élément raidisseur (Studio teorico sperimentale di un modello di ponte in curva a volta sottile ed impalcato irrigidente). RENZULLI (T.); *Ingegneria, Ital.* (nov. 1955), n° 11, p. 1253-1258, 10 fig. Comparaison des sollicitations théoriques obtenues avec quatre procédés de calcul

différents avec les contraintes enregistrées sur un modèle à échelle réduite. — E. 40771.

CDU 624.7 : 693.55 : 69.001.5.

35-96. Étude d'un procédé de calcul des revêtements routiers bitumineux avec mesure des sollicitations dynamiques dues au trafic (Ein Berechnungsverfahren für Asphaltstrassen mit besonderer Berücksichtigung des dynamischen Verkehrs). NIJBOER (L. W.); *Bautechnik, All.* (fév. 1956), n° 2, p. 37-42, 13 fig., 14 réf. bibl. — Description d'un procédé de mesure des déformations du revêtement. — E. 40602.

CDU 625.8 : 625.75 : 624.044.

36-96. Étude de quelques charpentes métalliques calculées d'après la théorie de la plasticité (Some steel structural frames designed on plastic theory). LITTLE (D. H.), SMITH (A. A.); *Proc. Instn. civ. Engrs., G.-B.* (déc. 1955), Part III : *Engng. Div.*, vol. 4, n° 3, p. 784-861, 51 fig., 4 fig. h.-t., 19 réf. bibl. — Expériences pratiques faites au cours des quatre dernières années dans la conception et la construction de bâtiments en rez-de-chaussée à charpente métallique. Description de quatorze bâtiments, dont douze ont été calculés selon les principes de la théorie de la plasticité. Discussion. — E. 39639.

CDU 624.014.2 : 539.5 : 721.011.261.

37-96. Flambement des constructions formées de barres droites. MASSONNET (Ch.); *C. E. C. M. Belg.* (15 déc. 1955), Notes tech. B-10, 52, 18 p., 61 fig., 33 réf. bibl. — Exposé de deux méthodes de calcul : 1^o méthode mise au point par Timoshenko et qui est la généralisation directe de la méthode des rotations; 2^o méthode développée surtout aux U. S. A. par James, Lundquist, Hoff et Winter et qui généralise directement le procédé de Cross. Ces deux méthodes sont basées sur les propriétés de la déformée d'une barre encastree élastiquement à ses extrémités. — E. 40223.

CDU 624.04 : 624.075.

38-96. Le flambement des barres droites soumises à des efforts longitudinaux à variation linéaire dans le domaine élastique et non élastique (Das Knicken gerader Stäbe mit linear veränderlicher Längskraft im elastischen und unelastischen Bereich). REINITZHUER (F.); *Bautech.-Archiv., All.* (1955), n° 11, p. 1-32, 32 fig., 21 réf. bibl. — Étude systématique du flambement des barres droites soumises à des efforts longitudinaux variant suivant une loi linéaire. Établissement de l'équation différentielle. Détermination des charges de flambement suivant le procédé de Galerkin. Comparaison avec les résultats d'autres études. Nouvelles formules approchées. — E. 40228.

CDU 624.071.3 : 624.075.2.

39-96. Diagrammes pour le calcul des poutres mixtes (The design diagram of composite beams). MASABU YASUMI, HIROKAZU OKAMURA; *Mém. A. I. P. C., Suisse* (1955), 15^e vol., p. 267-275, 4 fig., (résumés français, allemand). — E. 39928.

CDU 624.072.2 : 624.016.

40-96. Tables pour des dalles rectangulaires uniformément sollicitées à la limite de charge (Tafeln für gleichmässig vollbelastete Rechteckplatten). CZERNY (F.); *Bautech.-Archiv., All.* (1955), n° 11, p. 33-87, 19 fig., 19 réf. bibl. — Étude de la dalle rectangulaire d'épaisseur constante dans différents cas d'appui. Influence de l'allongement transversal du matériau supposé homogène et isotrope et obéissant à la loi de Hooke. — E. 40228.

CDU 624.073 : 624.078.5 : 518.

41-96. Méthode directe d'étude sur modèle (A direct method for model analysis). LAND-DECK (N. E.); *J. Struct. Div. (Proc. A. S. C. E.)*, U. S. A. (jan. 1956), n° ST 1, vol. 82, Proc. Pap. n° 869, p. 1-15, 21 fig., 3 réf. bibl. — Emploi de modèles en matières plastiques et d'extensomètres à résistance pour la résolution d'un problème de portique hyperstatique. — E. 40384.

CDU 69.001.5 : 624.075.

Caf Essais et mesures.

42-96. Méthodes photoélastiques et expérimentales par analogie (Photoelastic and experimental analog procedures). MOODY (W. T.), PHILLIPS (H. B.); *U. S. Dept. Inter., Bur. Reclamat., U. S. A.* (août 1955), *Engng. Monographs* n° 23, vi + 100 p., 79 fig., 56 réf. bibl. — Monographie donnant la description et les conditions d'utilisation des différents instruments que possède le « Bureau of Reclamation » des U. S. A. pour la détermination des contraintes par la photoélasticité et l'analogie électrique. — E. 39977.

CDU 620.1.05 : 624.043.

43-96. Emploi de la bille Kelly pour mesurer la consistance du béton (Use of the Kelly ball as a device for measuring the consistency of concrete). GRIEB (W. E.), MARR (R. A. jr.); *Publ. Roads, U. S. A.* (fév. 1956), vol. 28, n° 12, p. 266-270, 7 fig., 5 réf. bibl. — Étude de l'essai de pénétration avec la bille Kelly mise au point aux U. S. A. Avantages sur l'essai au cône d'Abrams. Bonne concordance entre les données fournies par ces deux sortes d'essais. — E. 40645.

CDU 620.1.05 : 666.972.

44-96. Appréciation de la force portante des routes à forte circulation par l'essai de compression (Beurteilung der Tragfähigkeit schwerbelasteter Strassen durch den Plattendruckversuch). SIEDER (P.), VOSS (R.); Edit.: Wilhelm Ernst und Sohn, Hohenzollernstrasse 169, Berlin-Wilmersdorf, All. (1956), Bundesanstalt f. Strassenbau, *Wissenschaftliche Berichte* n° 2, 136 p., 423 fig. — Description du matériel utilisé et du mode opératoire. Tenue aux essais des différentes couches constituant le corps de la chaussée. Résultats d'essais exécutés sur différentes autoroutes fédérales allemandes. Commentaire des résultats obtenus. — E. 40940.

CDU 625.7 : 620.17.

45-96. Traitement, après prise, accéléré des éprouvettes de béton. Mode opératoire pratique sur le chantier (Accelerated curing of concrete test cubes. A practical site procedure). AKROYD (T. N. W.), SMITH-GANDER (R. G.); *Engineering, G.-B.* (17 fév. 1956), vol. 181, n° 4699, p. 153-155, 9 fig. — E. 40776.

CDU 69.058 : 620.11 : 666.972.

46-96. Détermination de la résistance à la traction du béton armé par des essais de déchirement de cylindres (Essai brésilien) (Tensile strength of concrete determined by cylinder splitting tests). EFSEN (A.), GLARBO (O.); *Beton Jernbeton, Danm.* (jan. 1956), n° 1, p. 33-39, 6 fig. — Le laboratoire de Recherches du Bâtiment de Copenhague a expérimenté la méthode d'essai proposée par le Japonais Akazawa, puis par le Brésilien Carneiro, de compression d'un cylindre de béton armé entre deux plateaux parallèles à l'axe du cylindre avec interposition de petits coussins de bois. — Conclusions sur la relation entre résistance à la compression et à la traction. — E. 40056.

CDU 620.11 : 666.98.

47-96. Essais comparatifs de traction et de pliage sur des éprouvettes comportant des trous forés, poinçonnés, et alésés. CASSÉ (M.); *Mém. A. I. P. C., Suisse* (1955), 15^e vol., p. 31-50, 30 fig. — Compte rendu d'essais effectués à la S. N. C. F. — E. 39928.

CDU 620.11 : 691.714.

48-96. Essais effectués à l'occasion de l'élaboration du nouveau règlement hongrois sur le béton armé (Az új vasbetonszabályzat készítésével kapcsolatos kísérletek). GYENCO (T.); *Tudományos Közlemények, Hongr.* (1954), n° 2, p. 1-55, 69 fig. — E. 40756.

CDU 620.17 : 693.55 : 35.

49-96. Essais d'aciers ronds laminés pour béton armé (Acero laminado en barras de sección circular para hormigón armado). HELFCOT (A.), LOMBARDI (J. P.); *Lab. Ens. Mater., Investig. Tec. (Minist. Obras publ.)*, Argent. (1954), Sér. II, n° 50, 22 p., 15 fig.,

(résumé anglais). — Résultats d'essais systématiques exécutés en 1947 sur des barres de section circulaire utilisées comme armatures dans le béton armé. Ces barres sont obtenues dans des fours Siemens-Martin basiques, sans éléments d'alliage. Valeurs de la résistance à la rupture, du fluage et de l'allongement. Résultats obtenus sur les barres utilisées de 1948 à 1951. Courbes relatives à chacune des trois caractéristiques. — E. 39846. CDU 620.17 : 693.554.

50-96. Essais comparatifs d'un assemblage par boulons à haute résistance et d'un assemblage par rivets et boulons à haute résistance (Comparative test of a structural joint connected with high-strength bolts and a structural joint connected with rivets and high-strength bolts). CARTER (J. W.), McCALLEY (J. C.), WYLY (L. T.); *Bull. Amer. Railw. Engrg. Ass.*, U.S.A. (sep.-oct. 1954), vol. 56, n° 517, p. 217-267, 41 fig., 5 réf. bibl. — Compte rendu de recherches américaines sur les contraintes dans les charpentes de ponts. Essais sous charge statique, essais au choc et essais de fatigue. Discussion des résultats. Supériorité du joint boulonné aux essais de fatigue. — E. 40499. CDU 620.17 : 624.078.1 : 624.078.2.

51-96. L'emploi des procédés photoélastiques pour les travaux de l'Institut scientifique du Bâtiment en Hongrie (Az építéstudományi intézet feszültségoptikai kísérletei). SZMODITS (K.), ROZSA (M.); *Tudományos Közlemények*, Hongr. (1954), n° 3, p. 1-44, 56 fig. — E. 40757. CDU 620.1.05.

Ce MÉCANIQUE DES FLUIDES

52-96. Écoulement des cours d'eau : analyse polydimensionnelle de facteurs variables affectant la vitesse d'écoulement dans les cours d'eau ayant un débit solide (Streamflow : polydimensional treatment of variable factors affecting the velocity in alluvial streams and rivers). TOEBES (C.); *Proc. Instn. civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 900-938, 27 fig., 12 réf. bibl. — Exposé d'une méthode permettant de déterminer l'influence de variables affectant la vitesse moyenne d'écoulement des cours d'eau. Discussion. — E. 39639. CDU 532.5 : 627.1.

53-96. Essai de raccord entre la théorie de la houle et la théorie des ondes progressives. LARRAS (J.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (jan.-fév. 1956), n° 1, p. 105-110. — E. 40525. CDU 626.01 : 532.5.

54-96. Études récentes de la Commission de Recherches de l'Institution of civil Engineers (G.-B.) dans le domaine de l'hydraulique (Recent developments in hydraulics, Institution Research Committee). *Proc. Instn. civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 990-1049, 346 réf. bibl. — Recherches sur l'écoulement dans les conduites et galeries et dans les canaux ouverts. Rapports entre les précipitations et le ruissellement. — E. 39639. CDU 532.5 : 643.

55-96. Quelques problèmes d'hydraulique dans le domaine des réseaux d'égouts et des installations de traitement des eaux usées (Some hydraulic aspects of sewerage and sewage disposal). TOWNEND (C. B.), WILKINSON (G. W.). *Proc. Instn. civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 662-724, 16 fig., 22 réf. bibl. — Evacuation des eaux pluviales, formules de calcul du débit des canalisations, problèmes relatifs aux stations de traitement, écoulement et phénomènes de sédimentation. Discussion. — E. 39639. CDU 532.5 : 628.2/3.

Ci GÉOPHYSIQUE

Cib Géologie. Minéralogie.

56-96. Le rôle de la géologie dans les travaux de génie civil. BONTE (A.); *Ann. Ponts Chauss.*,

Fr. (jan.-fév. 1956), n° 1, p. 77-103, 4 fig., 13 réf. bibl. — E. 40525. CDU 624.131.

57-96. Bilan des résultats obtenus dans la mise en œuvre des recommandations de la Conférence de Goma. GUILLOTEAU (J.) *Commiss. Coopér. tech. Af. S. du Sahara* (Extrait des Comptes rendus de la 2^e Confér. interafricaine des Sols, Léopoldville, 9-14 août 1954), Doc. 108 — B. I. S., Section 1, p. 1335-1346 (en français), p. 1347-1358 (en anglais). — Problèmes de la dégradation, de l'utilisation et de la conservation des sols sur le continent africain. Activité du Bureau interafricain des Sols et de l'Economie rurale. — E. 40018. CDU 55 : 63 : 626 (6).

58-96. Ce qu'il faut savoir de la technique des sols. I. II. III. (What you should know about soil engineering). RITTER (L. J. jr.); *Publ. Works Magaz.*, 310 East 45th Street, New York 17, U. S. A.; I : 21 p., 14 fig.; II : 22 p., 15 fig., 12 réf. bibl.; III : 18 p., 9 fig. — Nature et classification des sols, terminologie. Composition des sols, proportion des vides, porosité, degré de saturation, poids unitaire, poids spécifique, dimensions et forme du grain. Capillarité, contraction et dilatation, perméabilité. — E. 41621. Trad. I. T. 406, 61 p. — E. 40018. CDU 624.131.2/3.

Cib m Étude des sols.

59-96. Mécanique du sol et fondations. VERDEYEN (J.); Edit. : Eyrolles, Fr. (1955), 3^e édit. 1 vol., 580 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1854 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41129. CDU 624.131 : 624.15 (03)

60-96. Projet de méthodes d'essais des sols et des fondations. I. — *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101 (Sols et fondations : 20), p. 357-368. — Cette publication comprend une première série de méthodes d'essais qui feront l'objet d'une normalisation future. Bien que provisoires, ces textes, en précisant les conditions des essais, permettent aux ingénieurs de laboratoires d'obtenir des résultats comparables. — E. 41830. CDU 624.131.3.

61-96. Projet de méthodes d'essais des sols et des fondations. II. Essais statiques de chargement. — *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101, (Sols et fondations : 21), p. 369-384, 19 fig. — Prélèvement des échantillons remaniés, préparation de matériau remanié en classe granulométrique représentative. Détermination en laboratoire de la teneur en eau, de la limite de liquidité, de la limite de plasticité et de la limite du retrait du sol. — E. 41830. CDU 624.131.38.

62-96. Essais de cisaillement triaxial sur des sols graveleux perméables (Triaxial shear tests on pervious gravelly soils). HOLT (W. G.), GIBBS (H. J.); *J. Soil Mech. Found. Div.*, (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM1, vol. 82, Pap. n° 867, p. 1-22, 13 fig., 5 réf. bibl. — Essais récents pour déterminer les caractéristiques de cisaillement des sols graveleux. Recherche des relations entre la résistance au cisaillement et la densité, la quantité de gravier, la granulométrie, la dimension maxima des particules et la forme des particules. — E. 40461. CDU 624.131.3 : 620.17 : 691.223.

63-96. Étude de la courbe intrinsèque des sols compactés et non saturés. KYVELLOS (G.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101 (Sols et fondations : 22), p. 385-412, 36 fig. — Recherche effectuée aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux publics en vue d'étudier les variations des propriétés mécaniques des sols cohérents non saturés, en voie de dessiccation. Les éprouvettes essayées étaient préparées avec du limon d'Orly, par des appareils de compactage spéciaux, décrits en détail.

En plus des essais courants en mécanique des sols, essais spéciaux comme la compression diamétrale (essai brésilien), l'essai de torsion et l'essai triaxial à étapes (ou échelonné). — Les conclusions portent aussi bien sur les résultats des essais que sur les appareils spéciaux et les méthodes particulières utilisés, dont l'emploi généralisé, pour certains, est préconisé. — E. 41830. CDU 624.131.4.

64-96. Essais de pénétration et force portante des sols sans cohésion (Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils). MEYERHOF (G. G.); *J. Soil. Mech. Found. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM1, vol. 82, Pap. n° 866, p. 1-19, 7 fig., 32 réf. bibl. — Recherche d'une relation entre la résistance à la pénétration (dynamique et statique), la densité relative et l'angle de frottement interne. Applications. — E. 40461. CDU 624.131.38 : 691.4.

65-96. Etat actuel du procédé de sondage des sols de fondation à l'aide d'une sonde enregistrant la pression à la pointe (Derzeitiger Stand des Spitzdruck-Sondierverfahrens). KAHL (H.); *Fortsschr. Forschungen Bauwesen*, All. (1955) sér. D, n° 25, Grundbau : 2, p. 29-33, 12 fig., 13 réf. bibl. — E. 40422. CDU 624.131.38 : 620.1.05.

66-96. Aperçu d'ensemble sur l'état de la science et de la technique de la reconnaissance des sols par les procédés dynamiques (Zusammenfassende Darstellung des Stands von Wissenschaft und Technik der dynamischen Baugrunduntersuchungen). SMOLTZYCH (H. U.); *Fortsschr. Forschungen Bauwesen*, All. (1955), Sér. D, n° 25, Grundbau : 2, p. 5-28, 55 fig., 16 réf. bibl. — Appareillage et méthodes, exposé théorique, résultats d'essais. — E. 40422. CDU 624.131.3 : 620.1.05.

67-96. Recherches sur la perméabilité du sol effectuées à l'occasion du projet d'aménagement hydroélectrique de la rivière Mourne (Irlande du Nord) et notamment à l'occasion d'un essai de puits de décharge (Soil permeability determinations carried out for the river Mourne hydro-electric project, with particular reference to a discharging-well test). GOSCHALK (E. M.); *Proc. Instn. civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 972-989, 7 fig., 7 réf. bibl. — Exposé de recherches effectuées à différentes reprises depuis 1948 en vue du choix de l'emplacement approprié pour la construction d'un barrage sur la rivière Mourne. — E. 39639. CDU 624.131.3 : 627.8.

68-96. Prélèvement d'échantillons de sol. I. II. (Opptagning av uforstyrrede jordprover). VOLD (R. C.); *Tek. Ukeblad*, Norvège, (23 fév. 1956), n° 8, p. 151-159, 9 fig.; (1^{er} mars 1956), n° 9, p. 173-179, 6 fig., 13 réf. bibl. — Importance des échantillons intacts. Description de nombreuses méthodes employées. — Étude de la méthode mise au point par l'Institut Géotechnique norvégien en 1951, sur la base des résultats de Hvorslev, et description de l'appareillage. — E. 40693, 40843. CDU 624.131.36.

69-96. Surfaces de rupture dans le sable sous des charges obliques (Rupture surfaces in sand under oblique loads). JUMIKIS (A. R.); *J. Soil Mech. Found. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM 1, vol. 82, Pap. n° 861, p. 1-26, 18 fig., 39 réf. bibl. — Exposé de recherches expérimentales exécutées de 1939 à 1942 sur la force portante de sols de fondation sableux. — E. 40461. CDU 624.131.38 : 691.223.

70-96. Stabilité des terres. Sols routiers. Soutènements. Talus. VERDEYEN (J.), ROISIN (V.); Ed. Eyrolles, Fr. (1955), 1 vol. 426 p., 340 fig. — Voir analyse détaillée B. 1853 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41468. CDU 624.13 (03)

71-96. Examen critique de trois théories récentes sur l'équilibre limite du sol sous les fondations directes. BEER (E. de), WALLAYS (M.); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (1955), n° 3, p. 5-47, 38 fig., 7 réf. bibl. — E. 40640. CDU 624.131.5 : 624.15.

Hydrographie.

72-96. Technique de la conservation du sol et de l'eau (Soil and water engineering). FREVERT (R. K.), SCHWAB (G. O.), EDMISTER (T. W.), BARNES (K. K.); Ed.: John Wiley and Sons, U. S. A. (1955), 1 vol., xiii + 479 p. nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1866 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41015. CDU 626.8 : 627.5.

CONDITIONS GÉNÉRALES

Conditions économiques

73-96. Sortir la construction de l'impasse. Edit.: Fédération nationale du Bâtiment, Fr. (31 mars 1956), 1 vol., 96 p. — Voir

analyse détaillée B. 1851 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41466.

CDU 69.003 : 69.002 : 69.007 (06) (44).

74-96. Calcul des prix de revient prévisionnels dans l'entreprise de bâtiment et de travaux publics. TOFANI (R.); Edit. Monit. Trav. publ., Fr. (1956), 1 vol., 315 p., 80 fig. — Voir analyse détaillée B. 1861 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41132.

CDU 69.003 (03).

Cod j Règlements — Législation

75-96. Législation, nomenclature et réglementation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Journal Officiel, Imprimerie des Journ. Offic., Fr. (1955), 3^e édité mise à jour au 1^{er} avr. 1955, 1 vol., n° 1001, 578 p. — Voir analyse détaillée B. 1864 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41128.

CDU 35 : 628.5 (02) (44).

Cod l Normalisation.

76-96. La normalisation des éléments de construction, condition préalable à l'industrialisation de la construction (Typenbauelemente-eine Voraussetzung zur Industrialisierung im Bauwesen). LATUS (F.); *Bauplan. Bautech.*, All. (nov. 1955), n° 11, p. 473-477, 4 fig. — Etude sur la normalisation dans la République démocratique allemande. — E. 39092.

CDU 389.6 : 69.02 (43).

77-96. Normes allemandes relatives à la construction de logements (Wohnungsbaunormen). FROMMHOFF, HASENJÄGER, Ed.: Werner Verlag GmbH., All. (1955), 4^e édité, 2 vol.: I — 256 p., 312 fig.; II — 256 p., nombr. fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1870 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41095, 41096.

CDU 389.6 : 69 : 728 (02) (43).

Cof m Manuels. Cours. Traités.

78-96. Dictionnaire anglais-français des termes relatifs à l'électrotechnique, l'électronique et aux applications connexes. PIRAUX (H.); Edit.: Eyrolles, Fr. (1955), 1 vol., 304 p. — Voir analyse détaillée B. 1855 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41130.

CDU 03 : 621.3.

D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Liants. Chaux. Plâtre. Ciments.

79-96. Porosité des pâtes de ciment Portland durcies (Porosity of hardened Portland cement pastes). COPELAND (L. E.), HAYES (J. C.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 633-640, 4 fig., 6 réf. bibl. — Méthodes expérimentales et procédés de calcul. Volume total des pores dans les pâtes durcies, volume des pores du gel, volume des pores capillaires dans les pâtes durcies. — E. 40915.

CDU 620.16 : 691.54.

80-96. Matériaux résistant à la corrosion pour les canalisations et conduites d'évacuation des déchets chimiques (Corrosion resisting materials in plumbing and drainage for chemical wastes). GILLET (R. T.); Tiré à part de: *Instn publ. Health Engrs.*, G.-B. (juil. 1955), p. 202-235, 18 fig., 6 réf. bibl. — Généralités sur l'évacuation des déchets chimiques. Matériaux à utiliser pour les canalisations et les joints. Discussion. — E. 40082.

CDU 620.19 : 621.643 : 628.54.

Briques. Tuiles.

Poteries.

81-96. Technologie des produits de terre cuite. BODIN (V.); Edit.: Gauthier-Villars, Fr. (1956), 1 vol., vi + 247 p., 134 fig. — Voir analyse détaillée B. 1859 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41293.

CDU 691.42 : 666.6 (03).

Matières plastiques.

82-96. Les matières plastiques dans le bâtiment (Kunststoffe im Bauwesen). SAECHTING (H. J.); Edit.: Verlag ECON, All. (1955), 1 vol., 220 p., 191 fig. — Voir analyse détaillée B. 1871 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41209.

CDU 691.175 (03).

Dac

PEINTURES. PIGMENTS. VERNIS. PRODUITS ANNEXES.

83-96. Enduits minces et peintures pour égalisation, protection et décoration. MAILLET (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101 (Aménagement intérieur : 8), p. 423-425. — Procédés actuels pour enduire et peindre les faces intérieures des murs et cloisons; subjectiles nécessitant ou non un enduisage; revue des produits de revêtement pour les surfaces du second type, savoir: enduits et peintures plastiques, peintures épaisses à base de cellulose, enduits et peintures à base de plâtre (comme liant). En ce qui concerne les surfaces du premier type, l'enduit de plâtre ne répondant pas aux impératifs de rapidité et moindre prix, des études ont porté sur l'accélération du séchage du plâtre, l'amélioration de son aptitude à recevoir des peintures simplifiées, les mortiers fins mixtes de liants hydrauliques et synthétiques (à forte adhérence, séchage rapide, appliqués au projecteur à air comprimé avec dispositif de repérage). — E. 41830.

CDU 667.6.

84-96. Influence des éléments constitutifs des peintures-émulsions sur la résistance à l'abrasion humide (Influencia de los componentes de las pinturas emulsionadas sobre la resistencia a la abrasion humeda). BRUZZONI (W. O.); *Lab. Ens. Mater. Investig. Tec. (Minist. Obras publ.)*, Argent. (1954), Sér. II, n° 56, 15 p., 5 fig., 12 réf. bibl., (résumé anglais). — Recherche des causes qui déterminent la résistance à l'abrasion humide des peintures-émulsions. Influence des éléments constitutifs sur les propriétés physiques des peintures, et notamment sur leur résistance au lavage. — E. 39851.

CDU 691.57 : 620.19.

85-96. Aux peintres la peinture. Réflexions à propos de l'application des peintures pour couche d'impression, sur bois, et pour couche primaire sur acier. RABATÉ (H.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101 (Aménagement intérieur : 8), p. 418-422. — Importance primordiale des couches d'impression, et des

couches primaires. Les divers types de peintures entrant dans la constitution des revêtements protecteurs multicouches pour bois et acier; influence du traitement préalable des bois (imputrescibilisation) et des aciers (passivation). Action de l'U. N. P. V. F. visant à faire réserver aux peintres l'application des couches d'impression, et des couches primaires, et actions parallèles de la Fédération nationale des Entrepreneurs de Peinture et Décor, de Belgique et de la Fédération des peintres allemands. Garanties de durabilité et d'efficacité des revêtements protecteurs multicouches. — E. 41830.

CDU 667.6.

86-96. Peintures préparées pour l'extérieur (Pinturas preparadas para exterior). RASCIO (V.), ZAPICO (E.); *Lab. Ens. Mater. Investig. Tec. (Minist. Obras publ.)*, Argent. (1954), Sér. II, n° 53, 38 p., 17 fig., 4 fig. h.-t., 11 réf. bibl. — Caractéristiques de soixante-quatorze échantillons de peintures à l'huile de fabrication nationale argentine. Essais exécutés par le Laboratoire argentin d'Essai des Matériaux et de Recherches technologiques. Détail des spécifications réglementaires, analogues à celles des Etats-Unis. Tableaux des résultats obtenus. — E. 39848.

CDU 667.63 : 620.16.

Daf SÉCURITÉ

DES CONSTRUCTIONS

Daf j Essais et mesures.

87-96. Résistance à la fatigue des poutres d'acier aux températures normales et basses. DUBUC (J.), MONTI (T. A.), WELTER (G.); *Ingénieur*, Canada (déc. 1955), n° 164, p. 21-28, 12 fig. — E. 40521.

CDU 620.17 : 624.072.2 : 624.014.2.

88-96. Considérations sur l'équivalent de sable. LHORTY (M.); *Rev. gén. Routes Aérod.*, Fr. (fév. 1956) n° 484, p. 57-64, 67-72, 32 fig. — Etude de cette méthode d'essai mise au point aux U. S. A. Dispersion des résultats de l'équivalent de sable, influence de la teneur en eau

de l'agrégat sur la valeur de l'équivalent de sable, variation de l'équivalent de sable en fonction de la teneur en éléments fins et zone couverte par cet essai, influence de la granulométrie de l'agrégat sur la valeur de l'équivalent de sable, influence du pourcentage de différents fillers dans les mélanges. Utilisation de l'équivalent de sable. Coefficient d'activité. — E. 40564. CDU 625.8.07.

89-96. Les contrôles non destructifs des effets du gel sur les bétons pour barrages. Bossi (J.); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (jan. 1956), n° 26, p. 19-28, 3 fig., 7 réf. bibl. — E. 40842.

CDU 620.193 : 699.83 : 693.5 : 627.8.

90-96. Techniques nouvelles dans les essais de revêtements protecteurs (New developments in tests of coatings and wrappings). BURNETT (G. E.), LEWIS (P. W.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 48, n° 2, p. 100-120, 17 fig., 4 réf. bibl. — Description d'essais effectués par le Bureau of Reclamation des U. S. A. sur des revêtements protecteurs de conduites forcées, et de conduites métalliques enterrées en général. — E. 41044.

CDU 620.197 : 628.14 : 624.014.

91-96. L'étude de la corrosion en milieu tropical. ROMANOVSKY (V.); *Corrosion-Anti-corrosion*, Fr. (fév. 1956), vol. 4, n° 2, p. 53-59, 11 fig. — Description de la station d'Abidjan où s'effectuent des essais à l'air salin, des essais de résistance aux embruns et des essais en immersion. Etude des organismes marins générateurs de corrosion par salissure. — E. 40848.

CDU 620.19 (213).

92-96. Caractéristiques de pâtes de ciment Portland traitées à des températures et à des pressions élevées (Properties of Portland cement pastes cured at elevated temperatures and pressures). LUDWIG (N. C.), PENCE (S. A.); *J. A. C. I.*, U. S. A., (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 673-687, 16 fig., 20 réf. bibl. — Influence du traitement à des températures et à des pressions élevées sur plusieurs caractéristiques physiques des pâtes de ciment durcies : résistance à la compression, chaleur d'hydratation, perméabilité à l'eau, teneur en eau non évaporable. — Description des méthodes expérimentales employées, résultats enregistrés. — E. 40915.

CDU 620.16 : 691.54.

93-96. Contrôle par procédés électriques des revêtements protecteurs de tuyaux métalliques (Electrical inspection of steel pipe coatings). DAVIDSON (S. M.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 48, n° 2, p. 121-130, 4 fig., 5 réf. bibl. — E. 41044.

CDU 620.197 : 628.14 : 624.014.

Daf I Corrosion.

94-96. Mode opératoire pour les essais de corrosion (Corrosion testing procedures). CHAMPION (F. A.); Edit. : Chapman and Hall, G.-B. (1952), 1 vol., xi + 369 p., 104 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1868 au chapitre III « Bibliographie. » — E. 41291.

CDU 620.197 : 691.7 (03).

Daf m Stabilité des constructions.

95-96. Force portante des poutres métalliques dissymétriques fléchies (Aszimmetrikus keresztmetszetű hajlított acéltartók teherbírása). TAMAS (G.); *Tudományos Közlemények*, Hongr. (1955), n° 6, 35 p., 40 fig. — E. 40760.

CDU 539.4 : 624.072.2 : 624.014.

96-96. Règles pour les constructions en béton précontraint (Norme per la struttura in cemento armato precompresso). *Ingegneri*, Ital. (jan. 1956), n° 1, p. 31-38, 2 fig. — Texte des Règles italiennes. Prescriptions générales, caractéristiques des bétons, condition

de réception des fournitures, tolérances, état des échantillons, pose des câbles, mise en tension, taux de travail, pertes de tension par relaxation, calculs statiques. Commentaires explicatifs sur ces règles. — E. 41624. — Trad. I. T. 459, 17 p.

CDU 693.564 : 620.1 : 624.04.

97-96. Calcul et exécution des éléments porteurs. Construction métallique. Éléments porteurs rivés ou boulonnés (Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Stahlbau. Genietete und geschraubte Stahltragwerke). Österreichischer Normenausschuss, Bauernmarkt 13, Vienne 1, Autr. (30 déc. 1954), norme autrichienne ÖNORM B 4300 (2^e partie), 13 p., 4 fig., (Tiré de : *Stahlbau*) — Texte de cette norme. — Généralités, calcul, hypothèses de charge, contraintes admissibles. Exécution des assemblages rivés ou boulonnés. — E. 40227.

CDU 624.014 : 624.04 : 624.07 : 389.6.

98-96. Calcul et exécution des ouvrages porteurs. Constructions métalliques. Ponts-route (Berechnung und Ausführung der Tragwerke. Stahlbau. Strassenbrücken). Österreichischer Normenausschuss, Bauernmarkt 13, Vienne 1, Autr. (16 avr. 1955), norme autrichienne ÖNORM B 4302, 6 p., 7 fig., (Tiré de : *Stahlbau*) — Texte de cette norme. — Domaine d'application et nomenclature des normes autrichiennes. Calcul, établissement des projets. Charges admissibles et règles générales de calcul. Règles spéciales concernant les assemblages rivés et boulonnés, les assemblages soudés, les contreventements. Exécution et montage des ouvrages. — E. 40323.

CDU 624.21.014 : 625.7 : 624.04 : 389.6.

Deb INFRASTRUCTURE ET MAÇONNERIE.

Deb ja Consolidation du sol. Assèchement. Drainage.

99-96. Principes fondamentaux du compactage du sol (Basic concepts on the compaction of soil). LI (C. Y.); *J. Soil. Mech. Found. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM 1, vol. 82, Pap. n° 862, p. 1-20, 9 fig., 9 réf. bibl. — Etude du comportement d'un sol pendant le compactage sous l'influence de différents facteurs. Le principe du « compactage par étapes. » Effet de la teneur en gravier sur le compactage de sols fins. — E. 40461.

CDU 624.138.

100-96. Problèmes et méthodes de compactage du sous-sol des chaussées (Aufgaben und Methoden zur Beurteilung der Verdichtung des Strassenuntergrundes). HEISIG; *Strassen-Tiefbau*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 85-88, 6 fig., 3 réf. bibl. — E. 40857.

CDU 624.138 : 625.73.

Deb je Terrassements.

101-96. Remblais de route sur sous-sol tendre (Strassendämme auf weichem Untergrund). ERLÉNACH (L.); *Bautechnik*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 42-44, 11 fig., 9 réf. bibl. Mesures à prendre avant le commencement des travaux, description de divers procédés utilisés en Allemagne et aux U. S. A. dans le cas de routes traversant une région marécageuse. — E. 40602.

CDU 625.73 : 624.135.

Deb ji Fondations.

102-96. Constatations relatives aux fondations d'immeubles de grande hauteur construits à Moscou (Nektere poznatky o zakladani vysokých staveb v moskve). ZARUBA (Q.); *Inz. Stavby*, Tchecosl. (19 mai 1955), vol. 3, n° 5, p. 180-185, 15 fig., 7 réf. bibl., (résumés

russe, allemand). — Méthodes utilisées en fonction des caractéristiques des sols. Indications sur les tassements mesurés. — E. 36591.

CDU 624.15 : 728. 2.011.27.

103-96. Problèmes de fondations pour les bâtiments agricoles (Problemele de fundatii pentru constructiile agricole). LEHR (H.), STANULESCU (I.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (avr. 1955), n° 4, p. 177-182. — E. 36154.

CDU 624.15 : 631.2.

104-96. Stabilité des fondations creusées dans l'argile (Stabilitet av avstivede utgravinger i leire). BJERRUM (L.), EIDE (O.); *Tek. Ukeblad*, Norvège (12 jan. 1956), n° 2, p. 23-33, 8 fig., 11 réf. bibl. — Méthode de détermination du risque d'instabilité des fondations sur l'argile. Le problème de stabilité a été abordé par Terzaghi en 1943, et par d'autres ensuite. Exemples de cas semblables en Suède et en Norvège. Nouvelle méthode de calcul. Coefficient de sécurité optimum. — E. 40169.

CDU 624.15 : 691.4.

105-96. Comportement des murs de maisons d'habitation en cas d'affaissements miniers (Das Verhalten von Wohnhauswänden bei Bergschäden). RAUSCH (E.); *Fortschr. Forschungen Bauwesen*, All. (1955), Sér. D, n° 22, 34 p., 70 fig. — Compte rendu de recherches poursuivies entre 1949 et 1953 sur les instructions du Ministère allemand de la Reconstruction. Programme des essais, résultats, interprétation de ces résultats. — E. 40421.

CDU 624.132 : 622 : 69. 022.1.

Deb li Bétons.

106-96. Bibliographie scandinave sur la technologie du béton, 1900-1933 (Nordisk betongbibliografi, 1900-1933). MÖLLER-SØRENSEN (P.); *Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, Copenhague, V. Danm.* (1955), 1 vol. (15 × 24 cm), 214 p. — Brochure groupant dans l'ordre de classement de la Classification Décimale Universelle toutes les études parues depuis 1900 au Danemark, en Suède et en Norvège, sur la technologie du béton. — E. 40948.

CDU 666.97 (01) : 025.45.

107-96. Matériaux de construction et éléments normalisés d'ouvrages porteurs. Directives pour le béton ainsi que pour les agrégats du béton et du mortier de ciment (Baustoffe und massgenormte Tragwerksteile. Richtlinien für Beton sowie für Zuschlagstoffe von Beton und Zementmörtel). Österreichischer Normenausschuss, Bauernmarkt 13, Vienne 1, Autr. (5 mai 1955), norme autrichienne ÖNORM B 3302, 17 p., 8 fig., (Tiré de : *Beton-Stahlbetonbau-Massivbau*). — Texte de cette norme. Définition des divers types de béton, dosage, eau de gâchage, produits d'addition entraîneurs d'air, consistance du béton. Granulométrie des agrégats, contrôle. Mise en œuvre du béton, traitement après prise. Bétonnage par temps froid. Essais. — E. 40324.

CDU 666.97 : 693.53 : 389.6.

108-96. Diagramme pour le dosage provisoire des éléments du béton (Diagram for forelobig beton proportionering). CLAUSEN (H.); *Beton Jernbeton*, Danm. (jan. 1956), n° 1, p. 53-56, 81-83, 2 fig. — Méthode mise au point par l'ingénieur danois Glarbo à l'aide de la formule de Bolomey. — E. 40056.

CDU 693.542.

109-96. La granulométrie optimum des agrégats du béton (Der Bestwert des Kornzusammensetzung von Betonzuschlagstoffen). SCHWANDA (F.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 41-46, 11 fig. — E. 40699.

CDU 666.97 : 691.322 : 693.542.

110-96. Détermination du rapport optimum eau-ciment dans le béton par procédé électrique (A beton optimalis vízementtenyézójenek meghatározása elektromos úton). NARAY-SZABO ISTVAN-SZUK GEZA; *Tudományos Köz-*

mények Hongr. (1955), n° 5, 28 p., 23 fig., réf. bibl. — E. 40759.

CDU 666.97 : 693.542.

111-96. Influence de l'âge du béton sur adhérence (Effect of age of concrete on bond resistance). PEATTIE (K.R.), POPE (J.A.); A.C.I., U.S.A. (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 661-672, 13 fig. — Compte rendu d'essais, discussion des résultats. — E. 40915.

CDU 620.16 : 693.55 : 69.059.4.

112-96. Considérations sur la rhéologie du béton (Nogle traek af betons reologi). LANDBO (P.); *Beton Jernbeton*, Danm. (jan. 1956), n° 1, p. 1-31, 23 fig., 19 réf. bibl. (résumé anglais). — Exposé des propriétés rhéologiques du béton, étude du retrait et du fluage. — Présentation d'une hypothèse basée sur les théories de l'Hermite. — E. 40056.

CDU 539.5 : 666.972.

113-96. Perméabilité du béton (Permeability of concrete). KOCATSKIN (F.); *Bül. Istanbul Tek. Univ.*, Turquie (1955), vol. 8, n° 50-56, 8 fig., 11 réf. bibl. — Compte rendu d'essais effectués au Laboratoire d'Essai des Matériaux de l'Université d'Istanbul pour déterminer l'influence du dosage sur la perméabilité du béton. — E. 41146.

CDU 620.16 : 666.972.699.82.

114-96. Exposé d'ensemble sur la technique moderne du béton (A survey of modern concrete technique). BATE (E.E.H.), STEWART (D.A.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 589-61, 25 fig., 7 réf. bibl. — Influence de la mécanisation dans la mise en œuvre du béton, qualités requises du béton, dosage. Exemples de l'emploi des méthodes modernes dans la conception du béton. Discussion. — E. 39639.

CDU 666.972 : 69.002.

115-96. Eléments de construction en béton armé d'un treillis métallique rectangulaire constitué de barres en acier rond (Könnny beton tartok vasalasa merőleges halozatu bevezetett gömbvashalozal). SZABO (G.); *Udományos Közlemények*, Hongr. (1956), n° 8, 23 p., 34 fig., 10 réf. bibl. — E. 40762.

CDU 624.07 : 666.973 : 693.55.

116-96. Les bétons réfractaires à base de Fondu Lafarge. S.A. des Chaux et Ciments de Lafarge et de Teil, 23 avenue de New York, Paris, Fr., 1 broch., 28 p., 51 fig. — Composition du Fondu Lafarge, ses propriétés réfractaires. Exposé des avantages des bétons réfractaires, de leurs caractéristiques et propriétés : prise, durcissement, résistance à froid et à chaud, retrait et dilatation, résistance aux variations de température, conductibilité thermique et électrique. Agrégats, dosage et mise en œuvre de bétons réfractaires. Exemples industriels d'utilisation des bétons réfractaires. — E. 41255.

CDU 666.972.5 : 699.81.

117-96. Béton armé. I. — *Tech. Archit.*, Fr. (jan. 1956), n° 4, 76 p., nombr. fig. — Numéro spécial consacré au béton armé dans le bâtiment et comprenant un certain nombre d'articles de synthèse, principalement sur les sujets suivants : J. ACHE : Les débuts du béton armé. — M. DURIEZ : Les règlements français. — J. AUTISSIER : Aperçu du développement depuis 1906. — J. AUTISSIER : Les armatures. — M. DURIEZ : Mortiers et bétons. — J. AUTISSIER : Disposition des armatures. — La mise en œuvre du béton armé. — E. FREYSINET : La précontrainte. Avant-propos. — P. WORONTZOFF : Les apports de la précontrainte aux techniques du bâtiment. — PERRET, V. BODIANSKY, N. ESQUILLAN, J. FAYETON, A. HERMANT, A. LAPRADE, A. LE DONNE, R. LEVI, R. LOPEZ, H. LOSSIER, E. MONTEORI, P. L. NERVI, E. TORROJA, R. VALETTE, J. ZEHRFUS : Tendances actuelles dans le domaine de la construction et de l'architecture en béton armé. Réponses à notre enquête.

— H. LOSSIER : L'architecture et le béton armé. — E. 40417.

CDU 693.55 : 721.

Deb m Maçonnerie.

118-96. Maisons en béton sans enduit (Putsfriä Betonghus). BJERKING (S.E.); *Stat. Nämnd Byggnadsforskning (SNB)*, Suède (1956), 123 p., Rapp. n° 32, 68 fig., 31 réf. bibl. — La pénurie de main-d'œuvre en Suède, en particulier parmi les maçons, a fait rechercher des simplifications dans la construction des immeubles : suppression de l'enduit, grâce à l'emploi de coffrages lisses réalisés en contre-plaqué. Les essais commencés en 1954 doivent être terminés en 1956. La surface du contre-plaqué est traitée continuellement au diesel oil. On a commencé à construire des maisons en béton sans enduit dans plusieurs grandes villes suédoises, et l'on escompte l'extension du procédé dans tout le pays. — E. 40728.

CDU 69.057.528 : 693.62.

Deb om Enduits. Revêtements.

119-96. Les loggias du front de mer de Royan. VICTOR (M.); *Rev. Alumin.*, Fr. (jan. 1956), n° 228, p. 80-85, 18 fig. — Construction de plus de 600 m de longueur s'ouvrant sur la plage de Royan. Description des bâtiments à ossature en béton armé. Les loggias des premier et deuxième étages sont revêtues de tôles d'aluminium sur toute leur longueur. — E. 40886.

CDU 729.6 : 691.771.

120-96. Revêtements de sols anti-acides et revêtements pour réservoirs (Savallo Burkolatok. Tervezese és Kivitelezese). ANDRAS (N.), FEJES KATALIN (P.); Edit.: Epítésügyi Kiado, Hongrie (1954), 1 vol., 216 p., 209 fig. — Voir analyse détaillée B. 1872 au chapitre III « Bibliographie ». E. 40819.

CDU 69.025.3 : 620.1.

121-96. Note sur l'incorporation de chaux grasse ou de liants hydrauliques dans les mortiers ou bétons bitumineux destinés aux revêtements de routes, de berges, de digues ou de barrages. DURIEZ (M.); *Rev. Matér. Constr.*, Fr. (jan. 1956), n° 484, p. 1-9, 3 fig. — E. 40652.

CDU 691.3 : 691.16.

122-96. Emploi d'agglomérés et d'éléments de béton pour les revêtements de digues (Betonnen glooiingen). BOSCH (J.-H.); *Polytech. T.*, Pays-Bas (19 jan. 1956), nos 3-4, p. 41b-49b, 17 fig. — E. 40162.

CDU 691.3 : 627.5.

123-96. Exécution rationnelle des revêtements de sol pour l'amortissement du bruit des pas (Rationelle Fussboden-Trittschalldämmungen). *Bautechnik*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 66-67, 4 fig. — E. 40602.

CDU 69.025.3 : 699.84.

Deb ne Béton armé.

124-96. Les contraintes supplémentaires et les déplacements de contraintes pendant le frettage des réservoirs (Die Zusatzspannungen und Spannungumlagerungen während des Umspannens von Behältern). HAMPE (E.); *Bauplan. Bautech.*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 52-58, 15 fig., 1 réf. bibl. — Calcul dans les cas suivants : pied de réservoir encastré, bord supérieur libre; pied de réservoir appuyé contre une dalle rigide, bord supérieur libre. — E. 40829.

CDU 693.564.4 : 628.13.

125-96. Etudes des déformations de poutres en béton armé (An investigation of deflections in reinforced concrete beams). HANNA (W.S.), BAKHOUM (M.), AMIR ASSAD RIZK; *Bull. Fac. Engng.*, Egypte (1954-1955), p. 57-101, 45 fig. h.-t., 1 réf. bibl. — Calcul

théorique, vérification expérimentale. — E. 40814.

CDU 624.044 : 624.072.2 : 693.55

126-96. Une première session d'études et de perfectionnement de l'Institut de Recherches appliquées du Béton armé (IRABA). *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101, (Béton-Béton-armé : 37), p. 455-458. — Dans le but d'habituer les Chefs de bureaux d'études et les Ingénieurs Chefs de Groupe des Entreprises de béton armé, maçonnerie, travaux publics, à généraliser les méthodes d'études nouvellement mises au point susceptibles d'abaisser dans des proportions appréciables le coût des constructions en béton armé, une session d'études et de perfectionnement a été organisée pendant dix jours au Centre d'Application de Recherches de Saint-Rémy-lès-Chevreuse par l'Institut de Recherches appliquées du Béton armé (IRABA) et l'Association Professionnelle pour l'Accroissement de la Productivité dans l'Industrie du Bâtiment (APROBA). Un premier compte rendu résume les activités de cette session qui a réuni seize ingénieurs stagiaires et deux auditeurs libres. — E. 41830.

CDU 693.55 : 69.00.

127-96. La mise au point d'aciers à haute résistance pour les armatures des éléments en béton armé en Autriche (Die Entwicklung hochwertiger Stähle für schlaße Bewehrung im Betonbau in Österreich). FRIEDRICH (E.); *Zement-Beton*, Autr. (fév. 1956), n° 4, p. 8-16, 20 fig., 1 réf. bibl. — E. 41006.

CDU 621.7 : 693.554.

Deb ni Béton précontraint.

128-96. Quelques problèmes relatifs au comportement des éléments de construction en béton précontraint (Unele probleme ale comportarii elementelor de constructii din beton precomprimat). FROIMESCU (A.), WEISENBERG (M.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (mars 1955), n° 3, p. 142-150, 11 fig., 8 réf. bibl. — E. 36153.

CDU 624.043 : 624.07 : 693.56.

129-96. Contraintes circonférentielles dans des tuyaux en béton précontraint (Circumferential stresses in prestressed pipes). EVANS (R.H.); *Prod. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 776-783. — E. 39639.

CDU 624.043 : 628.14 : 693.56.

130-96. Applications du béton précontraint à la construction de barrages, d'adductions d'eau et de tuyaux de drainage (Applications of prestressed concrete to water supply and drainage). EVANS (R.H.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 725-775, 10 fig., 3 fig. h.-t., 15 réf. bibl. — Etude des problèmes posés par l'emploi du béton précontraint dans la construction des barrages, galeries, réservoirs d'eau, ponceaux, canalisations diverses. Recherche des causes des avaries survenues au cours des dernières années à des tuyaux en béton précontraint. Discussion. — E. 39639.

CDU 624.012.46 : 624.21.059.

131-96. Résistance maximum à la flexion de poutres en béton précontraint et de poutres en béton armé ordinaire (Ultimate flexural strength of prestressed and conventionally reinforced concrete beams). JANNEY (J.J.), HOGNESTAD (E.), MCHENRY (D.); *J. A. C. I.*, U.S.A. (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 601-620, 11 fig., 11 réf. bibl. — Résultats d'essais ayant porté sur dix-neuf poutres rectangulaires. — Etude comparative du comportement de ces poutres. — E. 40915.

CDU 620.17 : 693.56.

132-96. Sur les contraintes développées dans le béton précontraint lors de la réalisation de la précontrainte (Ueber die innere Anpressung bei Vorspannung mit Verbund und bei Stahl-

saitenbeton). SWIDA (W.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 52-55, 5 fig., 1 réf. bibl. — Etude des contraintes développées au contact du béton et des aciers de précontrainte. — E. 40699. CDU 624.043 : 693.56.

133-96. Emploi d'armatures de grande section dans le béton précontraint (Use of large tendons in pre-tensioned concrete). THORSEN (N.); *J. A. C. I.*, U. S. A., (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 649-659, 15 fig. — Avantages de l'emploi d'armatures de grande section pour les éléments importants. Caractéristiques physiques des armatures. Etude de l'adhérence. — Exemples pratiques d'utilisation d'armatures de grande section. — Perspectives d'avenir. — E. 40915. CDU 693.56 : 693.554.

Dec CHARPENTE.

MENUISERIE. SERRURERIE.

Dec j Travail du bois.

Charpente. Menuiserie.

134-96. Un nouveau type de charpente (en bois). VACHER (G.); *Bâtir*, Fr. (fév. 1956), n° 56, p. 4-9, 13 fig. — Etude du procédé « Trigonit » pour la réalisation de poutres en bois comportant un treillis intérieur dont les entretoises sont unies par collage. Le treillis est fixé par clouage aux membrures supérieure et inférieure de la poutre. — E. 40887. CDU 694.2.

Dec l Travail des métaux.

Charpente. Soudure. Menuiserie.

135-96. Assemblage par soudage des éléments de portiques sans étage (Welded details for single-storey portal frames). British Constructional Steelwork Association, Artillery House, Westminster, S.W. 1., G.-B. (1955), B. C. S. A. Publicat., n° 9, 1 broch., 67 p., nombr. fig., 26 réf. bibl. — Recommandations pratiques pour le soudage des différents éléments entrant dans la construction d'un portique sans étage. Réalisation des joints en atelier ou sur le chantier. Exemples abondamment illustrés de réalisation de joints soudés entre les différents éléments de l'ossature. — E. 41294. CDU 624.078.3 : 624.072.33.

136-96. Institut international de la Soudure: Commission IX: Comportement des métaux du point de vue du soudage. — Recommandations en vue de définir les conditions minima à imposer aux aciers laminés ou forgés de construction au carbone ou faiblement alliés au manganèse pour les rendre aptes à la mise en œuvre par soudage à l'arc électrique. — *Soud. Tech. conn.*, Fr. (jan.-fév. 1956), vol. 10, n° 1/2, p. 7-11, 2 fig. — E. 40665. CDU 691.714 : 624.078.3.

137-96. La fragilité des constructions soudées. GOËAU (M.); *Centre Document. Siderurg.*, Fr. (1956), Circulaire Inform. tech., n° 2, p. 361-376, 14 fig., 18 réf. bibl. — Exposé des moyens dont on dispose pour préjuger favorablement ou non de la bonne tenue d'une soudure, et en particulier de sa non-fragilité. Qualité du métal de base et du métal d'apport. Compatibilité du métal de base et du métal d'apport. — E. 40666. CDU 620.17 : 624.078.3.

138-96. Étude sur les essais des soudures dans les constructions en acier (Testing of welds in steel structures is under study in research). *Texas Engng Exper. Stn News*, U. S. A. (juin 1955), vol. 6, n° 2, p. 7-8. — Brèves indications sur une étude faite à la demande du Service vicinal du Texas. Les essais radiographique et au « magnaflux » seraient actuellement les meilleurs. — E. 40655. CDU 620.1 : 624.078.3.

139-96. La rigidité relative des assemblages soudés et des assemblages rivés (The relative rigidity of welded and riveted connections). YOUNG (C. R.), JACKSON (K. B.); *Univ. Toronto, Fac. Appl. Sci. Engng School Engng Res.*, Canada (1934), Bull., n° 143, 83 p., 41 fig., 1 réf. bibl. — (Tiré à part de: *Canadian J. Res.*, Canada, juil.-août 1934, vol. 11, p. 62-134). — Compte rendu de recherches expérimentales sur les comportement des charpentes métalliques. Caractéristiques des spécimens, description de l'appareillage d'essai, coefficient d'encastrement, charges dues au vent. Interprétation des résultats d'essais. — E. 41327. CDU 69.001.5 : 624.014.2 (06).

140-96. Règles d'utilisation de l'acier dans la construction des bâtiments (CM. 56) MONDIN (Ch.); *Tech. mod., Constr.*, Fr. (fév. 1956), t. 11, n° 2, p. 49-50. — Indication des modifications essentielles apportées par rapport au texte de 1946, notamment en ce qui concerne les contraintes admissibles qui sont sensiblement augmentées. — E. 40794. CDU 624.014.2 : 624.04 : 389.6.

Ded TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

Ded l Étanchéité des constructions.

141-96. Produits bitumineux avec addition de caoutchouc pour le remplissage des joints de revêtements routiers (Bitumeneus voegvullingsmateriaal met rubber). GEESINK (H. A. O. W.), NIJVELD (H. A. W.); *Wegen*, Pays-Bas (jan. 1956), n° 482, p. 5-7, 1 fig., 7 réf. bibl. — Etude des produits mis au point aux Pays-Bas. — E. 40775. CDU 691.16 : 693.5.012.43 : 625.8.

Ded mo Travaux de peinture.

142-96. De l'importance de la mise en état des surfaces métalliques avant peinture. RABATÉ (J. L.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101 (Aménagement intérieur : 8), p. 415-418. — Position du problème; agents parasites des surfaces de fer et d'acier: la calamine, la rouille, les matières grasses, l'eau. — La microgéométrie des surfaces métalliques; principales opérations de leur mise en état et caractères généraux de ces opérations. La mise en état des surfaces peut être complétée par une passivation. — E. 41830. CDU 667.6.

Ded mi Vitrerie.

143-96. Prescriptions techniques concernant les travaux du bâtiment. Travaux de vitrerie (Technische Vorschriften für Bauleistungen. Glaserarbeiten). Oesterreichischer Normenausschuss, Bauernmarkt 13, Vienne 1, Autr. (27 nov. 1954), norme autrichienne ONORM B 2227, 3 p., (Tiré de: *Tech. Vorschriften f. Handwerkerarbeiten*) — Texte de cette norme. — Caractéristiques des différentes sortes de vitres et des mastics, pose des vitres, scellement, revêtements en verre de murs, planchers. Toitures vitrées. — E. 40225. CDU 691.615 : 698.3 : 389.6.

Def PRÉFABRICATION

144-96. Emploi d'éléments préfabriqués en béton dans la réalisation des ossatures. Quelques observations sur les procédés récemment utilisés (Precast concrete in framed structures. Some observations on recent practice). BENSON (E. S.) *J. R. I. B. A.*, G.-B. (fév. 1956), vol. 63, n° 4, p. 145-149, 14 fig. — Aperçu sur les procédés de construction d'immeubles à étages multiples. — E. 40783. CDU 69.002.2 : 693.55.

145-96. La fabrication en usine des bâtiments d'habitation. FOUCEA (E.); *Mém. Soc. Ingrs*

ci. Fr., Fr. (nov.-déc. 1955), n° 6, p. 445-464, 28 fig. — Réalisation à Evreux d'une série de bâtiments pour logements économiques et familiaux. Préfabrication à l'aide d'éléments normalisés en béton. Description de l'usine de préfabrication et de son équipement comportant des moules chauffants pour la confection des panneaux. — E. 40920. CDU 69.002.2 : 728.2 : 693.55.

146-96. Problèmes caractéristiques de la construction et du calcul des halles préfabriquées en béton armé (Probleme caracteristic alcatuiirii si calculului halelor de beton armat prefabricate). HANGAN (M.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (jan. 1955), n° 1, p. 19-27, 15 fig. — E. 35247. CDU 725.3 : 693.55 : 69.002.2.

147-96. Problèmes actuels de l'industrialisation des constructions, et plus particulièrement de la construction de planchers en éléments préfabriqués (Problemele actuale ale industrializarii constructiilor, cu privire speciala asupra construirii planseelor din elemente prefabricate si imbinarilor lor). IONESCU (C.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (jan. 1955), n° 1, p. 28-43, 17 fig. — E. 35247. CDU 69.002 : 69.002.2 : 69.025.

148-96. Difficultés rencontrées lors du montage des éléments préfabriqués sur les chantiers de construction de bâtiments (Dificultati intimpinate la montajul elementelor prefabricate pe santierelor constructiilor agricole). MENDEL (M.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (avr. 1955), n° 4, p. 185-187, 9 fig. — E. 36154. CDU 69.002.2 : 631.2.

149-96. Ecart de cotes dans les éléments préfabriqués en béton armé (Massabweichungen bei Stahlbetonfertigteilen). KRELL (K.-H.); *Bauplan. Bautech.*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 66, 3 fig. — Etude statistique sur les tolérances dans la fabrication des éléments en béton. Proposition de création d'une norme pour les tolérances fondamentales en ce qui concerne les éléments préfabriqués. — E. 40829. CDU 69.002.2 : 693.55.

150-96. Fabrication industrielle de huit logements par jour dans la région parisienne. CAMUS (R.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1956), n° 101, (Technique générale de la construction : 17), p. 427-454, 36 fig. — Les procédés Camus qui sont en application pour la construction de huit logements par jour dans la région parisienne consistent essentiellement à fabriquer, par montage en série, de grands panneaux qui constituent en un seul élément chacune des faces : murs, cloisons, refends; planchers des pièces du logement avec les revêtements, carrelages, portes, fenêtres ou canalisations. Ces éléments pesant jusqu'à 7 t, sont transportés sur remorques spéciales et mis en place à la grue. Description de l'usine de Montesson et de son équipement. Les pièces composites sont fabriquées horizontalement tandis que les panneaux simples sont construits verticalement par groupes dans des batteries de moulage. Les murs de 24 cm sont en béton armé avec revêtements extérieur et intérieur. Les planchers sont à dalles chauffantes. Description des travaux de coordination du second œuvre et main-d'œuvre nécessaire, mode de transport et mise en œuvre des éléments. — E. 41830. CDU 69.002.2 : 728.

Dib PLOMBERIE SANITAIRE

151-96. Installations intérieures pour canalisations d'eau. Directives pour l'exécution et l'exploitation (Inneninstallationen für Wasserleitungsanlagen. Richtlinien für den Bau und Betrieb). Oesterreichischer Normenausschuss Bauernmarkt 13, Vienne 1, Autr. (27 nov. 1954), norme autrichienne ONORM B 2531, 10 p., 4 fig., (Tiré de *Wasserwirtschaft*). — Texte de

ette norme. — Généralités. Pose des conduites, dimensionnement des tuyaux. Robinetterie. Preuve de pression. Dispositions spéciales concernant les services d'eau chaude. — E. 40226. CDU 696.11 : 696.4 : 389.6.

152-96. Aspects économiques de l'assainissement des régions rurales aux U. S. A. (Health education aspects of sanitation programmes in rural areas and small communities). DERRY (M.); *Bull. Org. mond. Santé*, Suisse (1954), vol. 10, n° 2, p. 145-154, 4 réf. bibl., résumé français. — Aperçu sur les installations sanitaires dans les campagnes, problème financier, intérêt de l'établissement d'un programme d'ensemble. — E. 39815. CDU 628.4 : 711.3 : 33.

CLIMATISATION

153-96. Rendement d'un collecteur de chaleur solaire constitué par une tôle plane (Performance of a flat-plate solar heat collector). VARD (G. T.); *Heat. Air Treatment Engr.*, G.-B. (fév. 1956), vol. 19, n° 2, p. 36-40, 6 fig. — Extrait de : *Instn mechan. Engrs*, août 1955). — Compte rendu de recherches effectuées à l'Université de Malaisie, à Singapour. — Description d'un collecteur expérimental. Calcul du rendement thermique d'un petit collecteur monté sur le toit qui à Singapour peut facilement fournir pendant toute l'année l'eau chaude nécessaire aux besoins domestiques. — E. 40343. CDU 697.7 : 551.521.1.

154-96. Températures, degrés hygrométries et taux de ventilation recommandés. — *Bull. Co. S. T. I. C.*, Fr. (fév. 1956), Industr. thermiques n° 2, p. 87-96, 12 fig. — E. 40686. CDU 697.9 : 389.6.

155-96. Les techniques nouvelles d'isolation. GLEMENT (P.); *Rev. gén. Froid*, Fr. (fév. 1955), n° 2, p. 137-160, 54 fig. — Densité de l'isolant, protection contre l'humidité, continuité de l'isolation. Caractéristiques des isolants en panneaux rigides, en matelas semi-rigides, en rac. Isolants façonnés sur place : béton cellulaire, béton de liège, béton Vermex, polystyrènes, amiante projetée. — Détermination de l'épaisseur de l'isolation. Applications aux installations frigorifiques. — E. 41887. CDU 699.86 : 796.97.

156-96. Méthode pratique de détermination de la surpuissance des chauffages en régime intermittent ou discontinu. DUPUY (R.), JACO (J.), DUMEZ (A.); *Assoc. Ingrs. Chauff. Ventil.*, Fr. (1955), 1 vol., 71 p., 20 fig., 2 pl. h.-t., 10 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1863 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 40946. CDU 697.358 : 697.13 (03)

Chauffage.

157-96. Problèmes de chauffage des logements à bon marché notamment dans le cas de chauffage avec poêles isolés (Heizungsfragen im sozialen Wohnungsbau unter besonderer Berücksichtigung der Heizung mit Einzelöfen). SCHÜLE (W.); *Heiz, Luft, Haustechn.*, All. (fév. 1956), vol. 7, n° 2, p. 25-29, 11 fig., 6 réf. bibl. — Compte rendu de recherches effectuées en Allemagne sur des maisons expérimentales. — E. 40647. CDU 697 : 728.3.

158-96. Chauffage des églises (Calefacción de iglesias). LAORDEN (J.); *Inform. Construcc. Inst. tec. Construcc. Cemento*, Esp. (jan. 1956), n° 77, p. 311.9/1-311.9/10, 13 fig., 5 réf. bibl. — Exigences imposées à l'installation de chauffage, description d'installations réalisées en Espagne et dans d'autres pays. — E. 40766. CDU 697.3 : 726.5.

159-96. Règlement d'application du code de la construction du Bureau national des Assureurs

contre l'Incendie (U. S. A.) pour l'installation d'appareils producteurs de chaleur ainsi que de systèmes de chauffage, de ventilation, de conditionnement d'air, de souffleries et d'évacuation (Building code standards of the National Board of fire underwriters for the installation of heat producing appliances, heating, ventilating, air conditioning, blower and exhaust systems). *Nation. Board Fire Underwriters*, U.S.A. (jan. 1949), 40 p., 10 fig. — Texte des règles concernant l'installation de : calorifères et chaudières de chauffage, appareils de chauffage et de cuisine montés sur plancher, calorifères montés sur plancher, aérothermes à feu direct du type au plafond, appareils de chauffage muraux, appareils de cuisine type restaurant montés sur plancher, foyers industriels et chaudières de machines à vapeur, type fixe. Carreaux, hottes, canalisations, systèmes de chauffage à air chaud et de conditionnement, incinérateurs, souffleries et canalisations d'évacuation. — E. 41622. — Trad. I. T. 408, 61 p. — CDU 697 : 614.84 : 368.1 (03).

160-96. Guide de l'acheteur. Equipement ménager 1956. A. F. N. O. R., Fr., 92 p., nombre fig. — Renseignements sur la norme nationale NF, garanties données aux acheteurs par cette estampille. — Recueil précisant les marques, caractéristiques principales et fournisseurs de l'ensemble des appareils français d'équipement ménager admis à la Marque Nationale de conformité aux normes à la date du 31 décembre 1955. — Appareils à gaz et électriques pour la cuisson, la production d'eau chaude, le chauffage. Poêles et cuisinières à charbon. Ustensiles en aluminium coulé. Appareils de cuisson sous pression. Meubles. — E. 40913. CDU 696 : 389.6 (44).

161-96. Planchers chauffants. GIRARDIN (M.); *Charbon Chauff.*, Fr. (1955), n° 10, p. 58-60, 1 fig. — E. 40687. CDU 697.353 : 69.025.

162-96. Le chauffage par les plinthes (Die Fussleisten-Heizung). PETER (K.); *Sanit. Tech.*, All. (1956), n° 2, p. 64-68, 18 fig., 9 réf. bibl. — Description d'un système de chauffage très répandu aux U. S. A. — E. 40620. CDU 697.353 : 69.025.3.

163-96. Chauffage à l'air chaud des maisons d'habitation individuelles (Varmiluftopvarmning af småhuse). DIDRIKSEN (N.), KORSGAARD (V.); *Stat. Byggeforskningsinst.*, Damm. (1955), Stud. n° 20, 34 p., 39 fig. — Le chauffage à l'air chaud, très développé aux Etats-Unis, est encore peu connu au Danemark. L'Institut danois de Recherches du Bâtiment étudie dans la présente brochure, tous les aspects de ce système de chauffage, avec circulation naturelle ou circulation dirigée. Description détaillée de diverses installations. Examen critique de ces réalisations. Exigences des autorités danoises à ce sujet. Appréciation des résultats des expériences en cours. — E. 40089. CDU 697.9 : 728.3 (489).

164-96. Utilisation du charbon pour le chauffage des locaux aux U. S. A. — *Ann. Mines*, Fr. (fév. 1956), p. 3-38, 25 fig. — E. 40703. CDU 697.32 : 662.66.

165-96. Deux intéressantes applications de chauffage à distance pour la S. N. C. F. B. ZINKER (C.); *Monit. Install. Chauff. central*, Belg. (fév. 1956), n° 242, p. 11-12, 15-16, 19-20, 10 fig. — Chauffage à distance de la gare de Bruxelles-Nord. Brève description des installations réalisées. — E. 40555. CDU 697.34.

Réfrigération.

166-96. Technologie des machines frigorifiques industrielles. BILLARDON (R.); Edit. : J. B. Baillière et Fils, Fr. (1954), 1 vol., 238 p., 130 fig. — Voir analyse détaillée B. 1860 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41204. CDU 621.57 (03).

Ventilation. Séchage.

167-96. Fumée, suie, cendres volantes (Røg-sod-flyveaske). HANSEN (K.); *Ingeniøren*, Danm (28 jan. 1956), n° 4, p. 114-120, 8 fig., 8 réf. bibl. — Etude de la pollution atmosphérique et des dispositions à prendre pour y parer. Exemples de pollution constatés à Londres et à Los Angeles. — E. 40295. CDU 697.88.

ÉCLAIRAGE

168-96. Influence des températures des parois des tubes sur les paramètres des lampes fluorescentes (Effect of bulb wall temperatures on fluorescent lamp parameters). JEROME (Ch. W.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 51, n° 2, p. 205-213, 16 fig., 6 réf. bibl. — Compte rendu des résultats de recherches sur divers types de lampes. Discussion. — E. 40921. CDU 628.9.03.

169-96. Brilliance et contraste en éclairagisme (Brightness and contrast in illuminating engineering). HOPKINSON (R. G.), STEVENS (W. R.), WALDRAM (J. M.); *Trans. Ill. Engng. Soc.*, G.-B. (mai 1941), vol. 6, n° 3, p. 37-48, 12 fig., 3 réf. bibl. — Le contraste et la perception. Définition du contraste. Limites de perception de la brillance. Effets de ces limites sur la reproduction photographique. Brilliance subjective ou apparente. Etude quantitative du contraste. Les phénomènes de contraste dans la pratique. — E. 40369. CDU 535 : 628.9.

PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET ACCIDENTS

Protection contre le bruit et les vibrations.

170-96. Procédé de mesure de l'amortissement et de la fréquence des harmoniques dans les poutres (A method for measuring damping and frequencies of high modes of vibration of beams). ADAMSON (B.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 1-16, 10 fig., 11 réf. bibl., (résumés français, allemand). Exposé d'un procédé permettant de déterminer l'importance de la valeur de l'amortissement dans les ouvrages soumis à des vibrations. — E. 39928. CDU 534 : 624.072.2 : 721.

171-96. Détermination de l'effet des vibrations des bâtiments (Ermittlung der Wirkung von Bauwerksschwingungen). KOCH (H. W.); *V. D. I., All.* (21 juil. 1953), vol. 95, n° 21, p. 733-737, 9 fig., 7 réf. bibl. — Etude des procédés directs qui comprennent les mesures d'allongement et de contraintes, ou les mesures de flexion et de déplacement. Exemples d'enregistrements. Procédés indirects. Echelle d'intensité de vibration et échelle des coefficients de dommage. Exemples de trépidations. Modes d'emploi des différents appareils de mesure. Influence sur l'homme. Intensité de sensation de vibration d'après Zeller, échelle de sensation d'après Reither et Meister. — E. 41623. — Trad. I. T. 458, 17 p. — CDU 69.001.5 : 699.842.

Protection contre l'incendie.

172-96. L'incendie dans les petits bâtiments (Fire in small buildings). *Commonw. Exper. Build. Stn (Dept. Works)*, Austral. (jan. 1956), Notes Sci. Build. n° 38, 4 p., 8 fig. — Origine des incendies, matériaux combustibles, propagation du feu, produits ignifuges, détection automatique de l'incendie. Précautions contre l'incendie. Dispositions constructives des bâtiments. — E. 40970. CDU 614.84 : 728.3.

173-96. Essais au feu de murs en briques (Fire tests of brick walls). INGBERG (S. H.); *U. S. Dept. Commerce, Nation. Bur. Stand.*, U. S. A. (30 nov. 1954), Build. Mater. Struct. Rep. 143, iv + 52 p., 62 fig., 9 réf. bibl. — Compte rendu d'essais pour déterminer la résistance au feu de murs pleins et de murs creux en briques ou en agglomérés divers. Caractéristiques des briques et agglomérés, ainsi que du mortier. Description des murs soumis aux essais. Appareillage et méthodes d'essais. Programme des essais. Résultats enregistrés. Influence des essais au feu sur la résistance des briques et de la maçonnerie. — E. 40977. CDU 614.84 : 69. 022 : 693.2.

174-96. Essais et classification de portes et de murs des locaux utilisés comme dépôts d'archives (Provning och klassificering av dörrar och väggar till arkivlokaler). BERGSTROM (M.), JOHANNESSON (P.); *Statens Provninganstalt*, Suède (1955), Meddel. 109, p. 1-23, 14 fig., 5 réf. bibl., (résumé anglais). — Compte rendu d'essais effectués à l'Institut d'Essais du Gouvernement suédois à Stockholm. Protection contre l'incendie, résistance au feu des éléments de construction. — E. 40321. CDU 728.9 : 620.16.

Dif n Danger aérien. Explosions.

175-96. Caractéristiques des pressions des souffles d'air engendrés par des charges détonantes (Loading characteristics of air blasts from detonating charges). GRANSTROM (S. A.); *Kungl. Tek. Högskolans Handlingar*, (1956), n° 100, 93 p., 46 fig., nombr. réf. bibl. — Description générale du souffle d'air; caractéristiques des ondes de choc, schémas idéalisés des pressions dues à des charges explosives détonant dans l'air non perturbé, déformation des ondes de choc réfléchies, durée et longueur des ondes. — E. 41245. CDU 532 : 534 : 699.853.

Dig I CANALISATIONS

176-96. Canalisations en chlorure de polyvinyle I. II. III. fin (Rohre aus Polyvinylchlorid). KLAUS (K.); *Sanit. Tech.*, All. (1955), n° 12, p. 427-431, 11 fig.; (1956), n° 3, p. 84-89, 30 fig.; (1956), n° 4, p. 128-130, 18 fig., 16 réf. bibl. — Développement de l'utilisation du chlorure de polyvinyle en Allemagne pour la réalisation des canalisations d'eau et de gaz et pour l'évacuation des eaux usées. — E. 39559, 41103, 41585. CDU 621.643 : 624.011.

177-96. Hydraulique des conduites. Manuel pour le calcul pratique de l'écoule-

ment dans les conduites (Rohrhydraulik. Ein Handbuch zur praktischen Strömungsberechnung). RICHTER (H.); Edit.: Springer-Verlag, All. (1954), 2° édit., 1 vol., xi + 328 p., 285 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1869 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 31734. CDU 621.643.2 : 532(03).

178-96. Nouvel assemblage à emboîtement pour tuyaux de refoulement en béton armé (de stations de pompage des eaux usées) (Eine neuartige Muffenverbindung für Stahlbetondruckrohre). CARP (H.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 49-52, 9 fig., 8 réf. bibl. — Compte rendu de recherches et d'essais effectués en Allemagne, exemple de réalisation de conduites de 1 600 mm de diamètre dans une région sujette aux affaissements miniers. — E. 40699. CDU 643.4 : 693.55.

Dig m RÉSERVOIRS. SILOS

179-96. Silos. Théorie et pratique. REIMBERT (M. et A.); Edit.: Eyrolles, Fr. (1956), 1 vol., 280 p., 335 fig. — Voir analyse détaillée B. 1856 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41467. CDU 725.36 : 624.01(03).

Do ENTREPRISES.

ORGANISATION. MAIN-D'ŒUVRE

180-96. Comment préparer les instructions de mise en œuvre. *Bâtir*, Fr. (fév. 1956), n° 56 : « Structura », n° 1, p. 2-17, 30 fig., (en français, allemand, anglais). — Indications pratiques sur la préparation du travail dans l'industrie du bâtiment. — E. 40887. CDU 69.00 : 721.

181-96. ABC. Classification abrégée des termes employés dans la construction, à l'usage des architectes, entrepreneurs et ingénieurs civils (ABC. Abridged building classification for architects, builders, civil-engineers). Sect. Docum. Internation. Counc. Build. Res., Stud. Docum., Bouwcentrum, Rotterdam, Pays-Bas (1955), 2° édit., 70 p. — La brochure constitue une sélection d'indices de la Classification Décimale Universelle se rapportant à l'architecture, à l'art de l'ingénieur, au génie civil, aux procédés de construction, aux éléments et matériaux de construction, aux installations diverses du bâtiment. — Les indices sont classés dans l'ordre numérique de la Classification Décimale Universelle. — La brochure comporte en outre un index alphabétique par matière donnant pour chaque terme le numéro d'indexation. — E. 40240. CDU 025.45 : 624.

F. — LES OUVRAGES

Fab ECHAFAUDAGES. ETAIEMENTS. BOISAGES

186-96. Disposition des échafaudages (Gerüstordnung). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 45, All. (jan. 1952), norme allemande DIN 4420, 23 p., 24 fig. — Texte de cette norme. Définition, classification des divers types d'échafaudages employés dans le bâtiment, description des différents éléments et des moyens de fixation. Stabilité, charges admissibles. Montage et utilisation des échafaudages. — Chaînes pour échafaudages. Directives concernant les condi-

tions à remplir (Gerüstketten. Richtlinien für Anforderungen). (jan. 1952), norme allemande DIN 4420 (annexe 1), 1 p. — Texte de cette norme. Norme allemande concernant les chaînes utilisées pour l'assemblage des éléments d'échafaudages pour chantiers de construction. Dimensions, mode de fabrication, matériaux constitutifs. — Echafaudages spéciaux constitués de perches en bois (Stangengerüste besonderer Bauart). (jan. 1952), norme allemande DIN 4420 (annexe 2), 2 p., 1 fig. — Texte de cette norme. Constitution des échafaudages pour les divers travaux du bâtiment, caractéristiques et dimen-

Dod MATÉRIEL ET OUTILLAGE

182-96. Matériel de préparation du béton. Malaxeurs. Bétonnières. I. II. III (fin). *Tech. mod.*, Const., Fr. (fév. 1956), t. 11, n° 2, p. 51-64, 13 fig., 1 réf. bibl.; (mars 1956), n° 3, p. 93-96, 16 fig.; (avr. 1956), n° 4, p. 116-117, 1 fig. — Description des divers types de bétonnières à axe horizontal, à axe incliné, à tambour triple cône. Chargement et vidage de la bétonnière, vitesse de rotation, durée du mélange. Données susceptibles de guider l'utilisateur dans son choix : capacité de production, volume de la cuve, volume de la gâchée, rendement des bétonnières. Tableaux des caractéristiques de construction et d'emploi. — E. 40794, 41317, 41806. CDU 693.542 : 621.92.

183-96. Vibrateurs internes pour le compactage du béton. Directives concernant leur utilisation (Innenrüttler zum Verdichten von Beton. Richtlinien für die Verwendung). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 45, All. (oct. 1955), norme allemande DIN 4235, 3 p. — Domaine d'utilisation des appareils, rendement, entretien, mesures de protection du personnel contre les accidents électriques, structure du béton vibré, mise en place, manipulation des vibrateurs. — E. 39841. CDU 693.546.4 : 621.54 : 389.6.

184-96. La commande hydraulique. Applications industrielles. Edit.: Dunod, Fr. (mars 1956), numéro spécial de la *Technique moderne*, xxxviii + 132 p., + xxv p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 1858 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41615. CDU 621.8 : 532 (03).

Dof ORGANISATION DES CHANTIERS

185-96. Rapport sur l'application des prescriptions en vue de la prévention des accidents et des mesures sur les premiers secours lors d'accidents survenus au cours de l'année 1954 (Bericht über die Durchführung der Unfallverhütungsvorschriften und der Massnahmen über die Erste Hilfe bei Unfällen im Jahre 1954). *Tiefbau-Berufsgenossenschaft*, Hauptverwaltung, 35-37 Romanstrasse, Munich 38, All. (1954), 1 vol., 99 p., 186 fig. — Texte du rapport établi par l'Association professionnelle allemande des Travaux publics. — Statistique des accidents. Exemples d'accidents survenus sur divers chantiers. Cause des accidents. Méthode de travail et dispositifs de protection de type récent. Collaboration entre les fonctionnaires des services de contrôle et les chefs d'entreprise. Collaboration avec les constructeurs de machines. — E. 39918. CDU 614.8 : 69 (06).

sions des divers éléments, moyens de fixation. — E. 39842, 39843, 39844. CDU 69.057.6 : 389.6.

187-96. Bases théoriques et pratiques du cintre Cruciani (Basi teorico pratiche della centina Cruciani). CRUCIANI (Fr.); Tiré à part de : *Costruzioni*, Ital. (jan.-fév. 1954), n° 13, 10 p., 20 fig. — *Travaux*, Fr. (mars 1956), n° 257, p. 117-122, 24 fig. — (Licence d'exportation pour la France : Soc. d'Etudes Nosséb. 91, Bd. de Courcelles, Paris, VIII^e) — Le système Cruciani prévoit deux types de cintres, l'un à poutre pleine constitué d'un seul groupe

de planches pour les ouvertures d'environ 0 m, l'autre, allégé, constitué de deux groupes de planches reliés entre eux par des diagonales en bois pour des ouvertures supérieures à 0 m. — Type à poutre pleine : calcul des contraintes de traction (compression) et de l'effort tranchant. — Type allégé : calcul des contraintes de traction (ou de compression) et de l'effort tranchant, contraintes dues au cintrage des planches, charge en bout, essais. — E. 41462 — 40662.

CDU 69.023.6 : 624.011.1.

Fac ELEMENTS PORTEURS

Fec j Ossatures. Piliers. Colonnes.

188-96. Recherches expérimentales sur les appuis en béton et en béton armé (Versuchsmässige Untersuchungen des Beton- und Stahlbetonlagers). KURYLO (A.), GLADYSCHEW (B.); *Bauplan. Bautech.*, All. (nov. 1955), n° 11, p. 478-482, 13 fig., 9 réf. bibl. — Etude du comportement des appuis d'articulation, compte rendu d'essais. — E. 39092.

CDU 69.001.2 : 624.023.941 : 693.54.

Fac l Poutres. Dalles. Planchers.

189-96. Poutres de ponts en béton armé en forme de caisson à compartiments multiples (Stahlbeton-Brückenträger mit mehrzelligem Lastenquerschnitt). JÄGER (K.); *Esterr. Bauz.*, Autr. (fév. 1956), n° 2, p. 17-25, 9 fig., 8 réf. bibl. — E. 41108.

CDU 624.04 : 624.21.023.9.

190-96. Planchers massifs. Cotes d'axe en béton (Massive Rohdecken. Achsmasse). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 15, All. (nov. 1955), norme allemande DIN 4237, 1 p., 6 fig. — Texte de cette norme. Cotes recommandées. — E. 40322.

CDU 69.025.22 : 389.6.

191-96. Calcul de l'évolution de la température dans un plancher en béton et briques creuses en hiver, pendant le durcissement (Beregning af temperaturforløbet i hulstensbænk under haerdning). RASTRUP (E.); *Beton og betondekninger*, Danm. (jan. 1956), n° 1, p. 62-69, 1 fig., (résumé anglais). — Tableau établi en fonction de la teneur en ciment du béton, du poids de béton par m² de plancher, de la température ambiante, de l'isolation par dessus et par dessous, de la température du béton à la coulée, et de la rapidité de durcissement. — E. 40056.

CDU 69.025.22 : 536.5.

Fac m Toitures. Voûtes. Dômes.

Coupoles. Arcs.

192-96. Solution économique pour l'exécution en série de couvertures de grande portée en béton précontraint (O solutie economica pentru executarea la scară industrială a acoperirilor de deschidere mare din beton precontrins). HALMACIU (M.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (jan. 1955), n° 1, p. 50-57, 10 fig. — E. 32247.

CDU 69.024.4 : 693.56 : 69.002.

193-96. Le flambement des arcs articulés à l'an moyen. BLAISE (P.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (jan.-fév. 1956), n° 1, p. 1-38, 15 fig. — Etude théorique du cas des arcs à une, deux ou trois articulations. Exemple numérique montrant la diminution des forces critiques de flambement dans un arc encastré particulier sur l'articule à la clef, aux naissances, ou simultanément à la clef et aux naissances. — E. 40525.

CDU 624.075 : 624.072.32 : 624.078.6.

194-96. Etude et construction d'un ouvrage en voile mince de béton armé d'épaisseur non uniforme reposant sur un système d'appui à rouleaux (Design and construction of reinforced concrete shell structure of non-uniform thickness supported on roller system). YOSHIKATSU TSUBOI, KINJI AKINO; *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 199-230, 19 fig., 4 réf. bibl. (résumés français, allemand). — Description d'un bâtiment circulaire à usages multiples (gymnase, auditorium, salle de concerts et pavillon d'exposition) construit au Japon en 1954. Calcul de la couverture en voile mince sphérique non encastré. — E. 39928. CDU 624.074.2 : 624.074.4.

Fe BATIMENTS EN GENERAL

195-96. Cotes et dimensions dans le bâtiment (Massordnung im Hochbau). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 15, All. (juil. 1955), norme allemande DIN 4172, 2 p., 1 fig. — Texte de cette norme. Définition, dimensions normalisées des éléments de construction. Joints de construction. — E. 39840. CDU 624.07 : 389.6.

196-96. Gratte-ciel avec panneaux de revêtement extérieur en acier inoxydable (Skyscraper clad in stainless steel, miracle at Grand Central). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (9 fév. 1956), vol. 156, n° 6, p. 33-35, 38, 40-41, 10 fig. — Description de l'immeuble à usage de bureaux Socony Mobil Building à New York, dont la construction sera achevée prochainement. Bâtiment à ossature métallique de quarante-cinq étages, panneaux de façade en acier inoxydable. Etude de l'organisation du chantier. — E. 40572.

CDU 728.2.011.27 : 729.6 : 691.7.

Feb HABITATIONS

197-96. Conception et construction des habitations dans les régions tropicales (Diseno y construccion en los tropicos). ATKINSON (G. A.); *Centre interameric. Vivienda (Serv. intercambio ci.)*, Colombie (1955), Ser. Traduc., Adaptac., Reimpres. n° 5, vii + 48 p., 11 fig. h.-t., 21 réf. bibl. — Généralités. Influence du climat sur la conception des constructions. Caractéristiques des locaux d'habitation et des autres locaux. Etude d'une agglomération. Types d'habitations. Matériaux et procédés de construction. — E. 39302. CDU 728 (213).

198-96. Comptes rendus de la Conférence sur la Recherche dans le Bâtiment, Ottawa 21-23 oct. 1953 (Proceedings of the Conference on Building Research, Ottawa, October 21 to 23, 1953). *Nation. Res. Council, Div. Build. Res.*, Canada, (sep. 1955) Bull. n° 1 Div. Build. Res., NRC 3568, iv + 137 p., nombre fig. — Conférences d'information sur l'état de la recherche en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis, en Scandinavie et au Canada. — Technique de la construction des logements. Série d'exposés sur l'humidité dans les matériaux solides. Comptes rendus des travaux de la Division canadienne des Recherches du Bâtiment. — Relation entre le climat et la construction des bâtiments. Propriétés des murs du point de vue de l'isolation thermique. Enquêtes sur les incendies de bâtiments. — E. 40754. CDU 69.001.5 : 697.13 : 061.6.

199-96. Conférences sur les progrès dans la construction (Course of better building). *Nation. Res. Council, Div. Build. Res.*, Canada (oct. 1955), Techn. Pap. n° 31 Div. Build. Res., NRC 3764, ii + 56 p., 20 fig. — Série de conférences présentées à la Division des Recherches du Bâtiment du Canada les 26 et 27 avril 1955, et destinées aux professionnels du bâtiment. — Les sols dans la construction des maisons. Les fondations de maisons.

L'art de la construction en maçonnerie. Développement de la construction à pans de bois. L'art du bétonnage. — L'application d'isolants et de protection contre la formation de buées. — L'équipement de chauffage des maisons. — E. 40753. CDU 69 : 728 (06).

Feb l Habitations individuelles.

200-96. Quarante types de maisons à bon marché. (40 designs for low-cost houses). The Concrete Association of India, 124 Queen's Road, Fort., Bombay, Inde (1956), 2^e édit., 1 broch., 56 p., nombre fig. — Recueil de types de maisons à bon marché construites sous le patronage de la « Concrete Association of India ». — Maisons individuelles et immeubles collectifs groupés en deux grandes catégories : pour zone sèche et aride et pour zone humide. — E. 41435. CDU 728.2/3 : 657.

201-96. Maisons d'habitations individuelles pour mineurs (Eigenheime für den Bergmann). JASPERT (F.); *Dtsch. BauZ.*, All. (1956), n° 2, p. 113-115, 1 fig., (résumés anglais, français). — Description de divers types de maisons d'habitations dans les cités ouvrières de la Ruhr et de la région d'Aix-la-Chapelle. — E. 40615. CDU 728.3 : 69.007.2 : 622.

Fec BATIMENTS CULTURELS

202-96. Le tremplin olympique de saut en ski à Cortina d'Ampezzo (Il trampolino olimpico per salti con sci in Cortina d'Ampezzo). POZZATI (P.); *G. Genio civ.*, Ital. (déc. 1955), n° 12, p. 739-751, 23 fig., 1 réf. bibl. — Structure en béton précontraint. Etude succincte de la solution constructive (précontrainte partielle) et exposé des calculs. — E. 40574. CDU 796.624.21.023 : 693.56.

Fed OUVRAGES

D'UTILITE PUBLIQUE

Fed la Alimentation en eau.

203-96. Livre de l'eau (Guide pratique à l'usage des ingénieurs et des techniciens. Vol. III. — Edit. : Centre belge d'Etude et de Documentation des Eaux, Belg. (1955), 1 vol., 316 p., 35 fig., 9 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 1865 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41205.

CDU 626.8 : 628.16 : 627.84 (03).

204-96. Quelques problèmes particuliers de l'organisation des chantiers pour l'exécution des travaux d'adduction d'eau et la pose des canalisations (Citeva probleme speciale de organizarea santierelor de executie a lucrarilor de alimentare cu apa si canalizari). MELZER (A.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (mars 1955), n° 3, p. 150-155. — E. 36153. CDU 628.14.

205-96. Château d'eau de grandes dimensions en béton précontraint pour la ville de Dallas, Texas (Large prestressed concrete elevated tank for Dallas, Texas). CLOSER (J. J.), CARMEL (T.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 27, n° 6, p. 641-648, 6 fig. — Description sommaire, emploi de coffrages glissants, mise en précontrainte. — Etanchéité assurée à la partie inférieure et à la partie supérieure des parois au moyen de joints en caoutchouc. — E. 40915. CDU 628.13 : 693.56.

Fed m Hygiène publique.

206-96. Technique des eaux usées. Termes techniques et définitions (Abwasser-technik. Fachausdrücke und Begriffserklärungen). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 15, All. (sep. 1955), norme allemande DIN 4045, 5 p. — Norme allemande

relative aux eaux usées, aux égouts et au traitement des eaux usées. — E. 39838.

CDU 628.2/3 : 389.6.

207-96. Les installations de traitement des eaux-vannes et l'emploi des eaux-vannes dans l'agriculture. MAZZETTI (G.); *Bull. Org. mond. Santé*, Suisse (1954), vol. 10, n° 2, p. 181-194, 3 fig., 14 réf. bibl. — Avantages et dangers de l'épandage. Méthodes modernes d'épuration des eaux-vannes, utilisation de l'effluent des stations d'épuration. — E. 39815.

CDU 628.35/6.

208-96. Présence et destruction des bacilles de la tuberculose dans les eaux usées (Présence and destruction of tubercle bacilli in sewage). JENSEN (K. E.); *Bull. Org. mond. Santé*, Suisse (1954), vol. 10, n° 2, p. 171-179, 20 réf. bibl., (résumé français). — Compte rendu de recherches effectuées au Danemark. — E. 39815.

CDU 628.3 : 614.48.

Fed n Génie rural. Irrigations.

209-96. Notes sur les limons des rivières de l'Afrique méridionale (Notes on the silts of Southern Africa rivers). BOSAZZA (V. L.); *Sols africains*, Fr. (juil. 1955), vol. 3, n° 3, 15 p., 11 fig., 20 réf. bibl., (en français et en anglais). — Etude de l'envasement des cours d'eau en Afrique méridionale. Nature des sels dissous dans les cours d'eau, prise en masse et tassement de différents types de limons. Classification des limons. Suppression des limons par les mesures de conservation du sol et par la construction de barrages et de digues en béton à gros agrégats. — E. 40017.

CDU 626.8 : 691.4 (68).

Fib OUVRAGES INDUSTRIELS

ET COMMERCIAUX

Fib je Industrie.

210-96. Bâtiments industriels. Espacement des axes et hauteurs d'étages (Industriebau. Achsenabstände und Geschosshöhen). Deutscher Normenausschuss, Umlandstrasse 175, Berlin W. 15, All. (juin 1955), norme allemande DIN 4171, 2 p., 4 fig. — Texte de cette norme. — E. 39839.

CDU 725.4 : 389.6.

211-96. Montage d'une cheminée industrielle métallique par des méthodes nouvelles (Montarea unui cos metalic dupa metoda noi). RADOSLAV (I.); *Industr. Constr. Mater. Constr.*, Roum. (mars 1955), n° 3, p. 133-141, 10 fig. — E. 36153.

CDU 697.85 : 624.014.

Fib l Dépôts de marchandises. Marchés.

212-96. Construction lourde de hangars et de halles (Massivhallenbauten). OHLIC (R.); *Bauingenieur*, All. (fév. 1956), n° 2, p. 55-61, 10 fig., 1 réf. bibl. — Avantages de la construction en béton armé. Etude de quelques réalisations en Allemagne, et notamment de la couverture en voiles minces de béton précontraint du marché aux bestiaux de Wiesbaden. — E. 40699.

CDU 725.3 : 693.55.

Fib n Production d'énergie. Barrages.

213-96. Lutte contre les infiltrations dans les digues du Mississippi, région de St-Louis (Control of underseepage, Mississippi river levees, St. Louis district). MANSUR (C. I.), KAUFMAN (R. I.); *J. Soil Mechan. Found. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM 1, vol. 82, Pap. n° 864, p. 1-31, 20 fig., 10 réf. bibl. — Etudes exécutées sur le terrain et en laboratoire à la suite des grandes inondations de 1951 et 1952. Méthodes adoptées. — E. 40461.

CDU 627.51.

214-96. Seuils déversoirs pour la régularisation des cours d'eau (Briglie per la sistemazione dei corsi d'acqua). TESTI (G.); *G. Genio civ.*, Ital. (déc. 1955), n° 12, p. 752-760, 9 fig. — Etude critique de deux articles publiés par A. CAPON et G. BONICELLI dans le *Giornale del Genio civile* de janvier et mars-avril 1955. — Exposé de critères constructifs rationnels déjà expérimentés avec succès et permettant des économies dans la construction des brides utilisées pour la correction du lit des torrents. — E. 40574.

CDU 627.5 : 627.8.

215-96. Quelques problèmes posés par l'aménagement du secteur médian du Bas-Rhône. GEMAEHLING (C.); *Technica*, Fr. (déc. 1955), n° 191, numéro spécial : « Le Rhône », p. 23-38, 17 fig., 1 réf. bibl. — Etude de certains problèmes généraux, solutions adoptées à Donzère-Mondragon et à Montélimar. Cheminement du débit solide dans le Rhône. — E. 40118.

CDU 627.8 : 627.15.

216-96. Aménagement de Montélimar. MIL-LON (M.); *Technica*, Fr. (déc. 1955), n° 191, numéro spécial : « Le Rhône », p. 70-76, 9 fig. — E. 40118.

CDU 627.8 : 627.15.

217-96. Aménagement mixte de la chute de Donzère-Mondragon. LECLERE (M.); *Technica*, Fr. (déc. 1955), n° 191, numéro spécial : « Le Rhône », p. 57-68, 12 fig. — E. 40118.

CDU 627.8 : 627.15.

218-96. Exemple de construction d'un grand barrage en Tchécoslovaquie (Stavba jedné z násich největších prehrad). POSPISIL (O.); *Instr. Stavby*, Tchécosl. (19 mai 1955), vol. 3, n° 5, p. 201-208, 11 fig., (résumés russe, allemand). — Etude du projet, profil géologique du terrain, fondations, organisation du chantier. Mesure de la déformation du barrage. — E. 36591.

CDU 627.8.

219-96. Le barrage de Serre-Ponçon sur la Durance. MAIGRE (R.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (fév. 1956), t. 11, n° 2, p. 35-45, 18 fig. — Données naturelles, caractéristiques du site, description de la digue en terre de 123 m de hauteur, constituée sur toute sa longueur par un noyau central étanche épaulé de part et d'autre par des massifs perméables en alluvions recouverts eux-mêmes d'un parement de protection imperméable. — E. 40794.

CDU 627.8.

220-96. Caractéristiques des matériaux les plus appropriés pour la construction des barrages en terre (O idealnim vrstama tla za izradu nasutih brana). VUCETIC (R.); *Nase Gradevinarstvo*, Yougosl. (fév. 1956), vol. 10, n° 2, p. 187-188, 2 fig. — E. 40581.

CDU 627.8 : 624.137 : 620.1.

Fid VOIES DE COMMUNICATION

Fid ja Routes.

221-96. Comptes rendus de la Trente-Quatrième Conférence de la Western Association of State Highways Officials, 8, 11 sep. 1955 (Proceedings Western Association of State Highway Officials, Thirty-fourth annual Conference). Oregon State Highway Department, U. S. A. (1955), 1 vol., vi + 424 p., fig. — Voir analyse détaillée B. 1867 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41292.

CDU 625.7 (06).

222-96. Comptes rendus de la Seizième Conférence annuelle sur la technique routière, 7, 8, 9, mars 1955 (Proceedings of the Sixteenth annual highway engineering conference). University of Utah, (Utah Engineering Experiment Station, Department of Civil Engineering), Salt Lake City, Utah, U. S. A. (juin 1955), Bull. n° 71, vol. 46, n° 5, 159 p., nombr. fig., 11 réf. bibl. — Texte des principaux mémoires présentés : problème du compactage; emploi d'explosifs dans la construction des routes;

tracé des routes économiques; aspects du raffinement de l'asphalte; armature en toile métallique soudée pour le béton asphaltique; essais et construction en asphalte au caoutchouc; construction de routes satisfaisantes à prix réduit; le béton précontraint et les ponts-routes. — E. 40331.

CDU 625.7 : 061.3.

223-96. Force portante d'une chaussée, et période de gel (Baereevne og frostfare). RAVN (H. H.); *Dansk. Vejtidskr.*, Danm. (jan. 1956), n° 1, p. 1-15, 17 fig., 21 réf. bibl. — Avaries causées aux routes danoises par le dégel en 1955. — Mesure de la force portante de la chaussée, et facteurs qui l'influencent. Dispositions à prendre pour prévenir les avaries dues au dégel. Exemples des Etats-Unis, de la Suisse, de l'Allemagne. — E. 40492.

CDU 625.7 : 699.83.

224-96. Le problème des ciments spéciaux pour la réalisation des revêtements routiers (Zür Frage von Sonderzementen für den Strassendeckenbau). HUMM (W.); *Zement-Beton*, Autr. (fév. 1956), n° 4, p. 3-7, 7 fig. — Aperçu sur les expériences faites jusqu'à présent en Europe et en Amérique sur le comportement des routes en béton, possibilités de variation des ciments, caractéristiques exigées des ciments. — E. 41006.

CDU 625.84 : 666.94.

225-96. L'entretien des routes en béton (Zur Unterhaltung von Betonstrassen). RISSEL (E.); *Strasse-Verkehr*, Suisse (17 fév. 1956), n° 2, p. 53-59, 11 fig., 12 réf. bibl. — Recommandations pour remédier aux avaries de la couche de roulement des revêtements en béton. Intérêt de l'emploi d'un mortier constitué de résine synthétique et de ciment. — E. 40673.

CDU 625.84 : 69.059.

226-96. Prévention des dégâts dus à l'humidité atmosphérique lors de l'exécution des enduits superficiels sur revêtements routiers (Prevention of wet-weather damage to surface dressings). *Dept. Sci. Industr. Res., Road Res. Laborat.*, G.-B. (1955), 2° édit., Road note n° 14, 9 p., 2 fig. — Emploi d'un produit améliorant l'adhérence du gravillon au liant. Méthodes d'utilisation : traitement préalable du gravillon; pulvérisation de la solution sur la pellicule de liant; traitement du liant. — E. 40374.

CDU 625.75 : 533.275 : 620.16.

227-96. Edification d'une gare routière à Odense (Dann.) (Fragtmandshal i Odense). MØLDRUP (S.); *Beton Jernbeton*, Danm. (jan. 1956), n° 1, p. 44-52, 9 fig., (résumé anglais). — Grand hall couvert de 2 450 m² édifié en béton précontraint, hauteur : 80 m, largeur : 20 m. — Poutres précontraintes de 10 t. — La couverture en panneaux de béton léger recouvert de carton, à 10 cm d'épaisseur et pèse 150 kg au m². — E. 40056.

CDU 725.31 : 693.56 : 691.3.

Fid l Voies maritimes.

228-96. Travaux à la mer. Précis de construction et d'exploitation des ports. BLOSET (M.); Edit. : Eyrolles, Fr. (1955), 3° édit., 1 vol., 191 p., 255 fig. — Voir analyse détaillée B. 1857 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 41426.

CDU 627.2/3 (03).

229-96. Recommandations de la Commission allemande « Ouvrages de protection des rives » (Empfehlungen des Arbeitsausschusses « Uferbefestigungen »). Edit. : Wilhelm Ernst und Sohn, All. (1955), 56 p., 9 fig., 11 réf. bibl. — Texte de trente recommandations classées suivant les chapitres ci-après : reconnaissance des sols, poussée et résistance des terres, charges des ouvrages de protection des rives; équipement des ouvrages portuaires, ouvrages en palplanches, pieux d'ancrage des ouvrages, murs massifs et murs fondés sur pilotis, programme des travaux futurs de la Commission. — E. 40375.

CDU 627.33 : 624.157 (06).

230-96. Erosion du front de mer et protection des côtes à Sumner, N.-Zél. (Sea erosion and coast protection at Sumner, N. Z.). SCOTT W. H.; *Engineering*, N.-Zél. (15 déc. 1955), vol. 10, n° 12, p. 438-447, 11 fig., 48 réf. bibl. — Indications sur la géographie du site, caractéristiques des sables de la plage, action des marées et du vent. Ouvrages de protection. — E. 40885. CDU 627.52.

Fif OUVRAGES D'ART Ponts.

231-96. Construction de ponts en béton armé par l'administration des Chemins de fer tchécoslovaques (Vyznacna mostni stavba zelezoveho betonu ceskoslovenske zeleznicni spravy). KLIMES (J.), SMITKA (V.); *in: Stavby, Tchecosl.* (19 mai 1955), vol. 3, n° 5, p. 195-201, 10 fig., (résumés russe, allemand). — Comparaison avec les réalisations soviétiques. Etude des projets, organisation des chantiers, fondations. Caractéristiques du béton. — E. 36591. CDU 624.21.012.45.

232-96. Règles et code de bonne pratique pour la construction des ponts-routes. Section I : Prescriptions générales pour l'étude des projets (Standard specifications and code of practice for road bridges. Section I : General features of design). *Indian Roads Congress*, Inde (1956), 23 p., 4 fig. — Définitions, données préliminaires, débit maximum du cours d'eau, espacement des piles et culées, tirant d'air, profondeur des fondations, parapets, accès. — E. 41122. CDU 624.21 : 625.7.

233-96. Le nouveau pont de Carquinez (U. S. A.) (Carquinez project). HOLLISTER L. C.; *California Highw. publ. Works*, U. S. A. (jan.-fév. 1956), vol. 35, n° 1-2, p. 24-29, 66, 6 fig. — Le nouveau pont sera construit à 60 m du pont existant et lui sera parallèle. Ouvrage métallique à poutres en treillis soudé, emploi d'acier à haute résistance, fondations sur caissons. — E. 40927. CDU 624.28 : 624.157.3.

234-96. Les deux ponts précontraints « Bytown » à Ottawa. KÆGI (H. P.); *Ingenieur*, Canada (déc. 1955), n° 164, p. 11-14, 8 fig. — Ponts à poutres à trois travées de 23 m de portée pour le pont Sud et de 27 m pour le pont Nord. Chaque travée est constituée de 8 poutres en béton précontraint sur appui simple. — E. 40521. CDU 624.27 : 693.56.

235-96. Pont en béton précontraint sur la rivière Adda à Traona. Province de Sondrio,

Italie (Ponte in cemento armato precompresso sul fiume Adda in comune di Traona, Provincia di Sondrio). DE ANGELIS (G.); *G. Genio civ.*, Ital. (déc. 1955), n° 12, p. 761-771, 25 fig. — Pont à poutres de 117,5 m de longueur sur cinq travées de 23,2 m. Largeur : 6,5 m. Description de l'ouvrage, calcul statique. — E. 40574. CDU 624.27 : 693.56.

236-96. Reconstruction du pont d'Orchamps sur le Doubs, Dumas (J.). *Travaux*, Fr. (fév. 1956), n° 256, p. 59-66, 22 fig. — Pont à poutres en béton précontraint de 157 m de longueur totale sur cinq travées de 28 m de portée. Etude du chantier de préfabrication des poutres, lancement des poutres. — E. 40292. CDU 624.27 : 693.56 : 69.002.2.

237-96. Un pont soudé établit un nouveau record de longueur (Welded bridge sets a new length record). JARMAN (H.); *Weld. Engr.*, U. S. A. (fév. 1956), vol. 41, n° 2, p. 38-40, 5 fig. — Pont à poutres de St. Rose (Canada) en acier entièrement soudé, longueur totale : 472,5 m en 14 travées inégales. Description de l'ouvrage et méthode de construction adoptée. — E. 40648. CDU 624.27 : 624.078.3.

238-96. La construction du pont sur les gorges de l'Inoura, Japon (The construction of the Inoura narrows bridge). MURAKAMI (E.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1955), 15^e vol., p. 135-151, 10 fig., (résumés français, allemand). — Pont-route métallique en arc à tablier supérieur à travée centrale de 216 m de portée. Etude de la construction de l'ouvrage : arc encastré renforcé, emploi de la précontrainte, montage par le procédé du porte-à-faux avec emploi de câbles. — E. 39928. CDU 624.6 : 624.014.2.

239-96. Vibration sous l'action du vent d'un pont suspendu supportant une conduite de gaz naturel. Mesures prises pour y remédier (Wind-induced vibration of a pipe-line suspension bridge, and its cure). BAIRD (R. C.); Tiré de : *Trans. A. S. M. E.*, U. S. A. (août 1955), p. 797-804, 15 fig., 9 réf. bibl. — Caractéristiques de l'ouvrage qui franchit la rivière Colorado près de Blythe (Californie). Mesure des oscillations de l'ouvrage, exposé des théories avancées pour l'explication des oscillations, corrélation entre les oscillations et le vent. Solution adoptée pour supprimer les oscillations. — E. 40320. CDU 624.5 : 699.83/4.

240-96. Etude d'implantation d'un ponceau (Analysis of a skew diversion). WEN HSIUNG LI; *J. Highw. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° HW1, vol. 82, Proc. Pap. n° 868, p. 1-19, 7 fig. — Tracé de route coupant

un ruisseau à angle aigu. Réduction du biais du ponceau. Choix de la solution la plus économique, compte tenu des facteurs hydrauliques, topographiques et économiques. — E. 40385. CDU 625.72 : 624.21.03.

Fo INCIDENCES EXTERIEURES

Fod Modifications. Démolitions.

Désordres.

241-96. Emploi d'explosifs pour les travaux de démolition (The use of explosives for demolitions). BROOK (D. H.), WESTWATER (R.); *Proc. Instn civ. Engrs*, G.-B. (déc. 1955), Part III : Engng Div., vol. 4, n° 3, p. 862-899, 11 fig., 9 fig. h.-t., 8 réf. bibl. — Indications pratiques sur la manière de procéder. Exemples de travaux de démolition intéressant des fondations, des ponts de chemin de fer, des cheminées industrielles et des bâtiments. Discussion. — E. 39639. CDU 69.059.6 : 662.

242-96. Avaries causées à des toits à faible pente par la charge du vent (Farlige vindbelastninger pa meget flade tage). RAMBØLL (B. J.); *Ingeniøren*, Danm., (25 fév. 1956), n° 8, p. 182-185, 7 fig. — Avaries causées en janvier 1956, à des immeubles en construction au Danemark, où le vent enleva de grands éléments de toiture. Description de trois immeubles. — Expériences en tunnel pour déterminer les sollicitations. Modifications à apporter aux prescriptions antérieures. Normes adoptées à la suite de cet événement. — E. 40795. CDU 69.059.22 : 69.024 : 624.042.

243-96. La rigidité de la construction et le calcul des tassements (Structural rigidity in calculating settlements). CHAMECKI (S.); *J. Soil Mechan. Found. Div.* (Proc. A. S. C. E.), U. S. A. (jan. 1956), n° SM1, vol. 82, Pap. n° 865, p. 1-19, 16 fig. — Etude du problème de l'interaction entre l'édifice et le sol de fondation. Solution générale. Méthode de calcul simplifiée. — E. 40461. CDU 624.131.5 : 624.04.

Fof Reconstruction.

244-96. Déplacement d'un entrepôt à Oissel. (*Seine-Maritime*). OLSEN (K.), PREVOST (J.); *Travaux*, Fr. (fév. 1956), n° 256, p. 67-74, 15 fig. — Procédés utilisés pour le déplacement sur une distance de un kilomètre d'un bâtiment de 100 x 20 m, constitué par 4 étages de planchers champignons et pesant environ 5 000 t. — E. 40292. CDU 69.059.5 : 725.35.

II. — TRADUCTIONS

D'ARTICLES TECHNIQUES EFFECTUÉES PAR L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Des reproductions de ces traductions peuvent être fournies aux adhérents de l'Institut Technique.

406. Ce qu'il faut savoir de la technique des sols. I. II. III. (What you should know about soil engineering). RITTER (L. J. jr.); *Publ. Works Magaz.*, 310 East 45th Street, New-York 17, U. S. A.; I : 21 p., 14 fig.; II : 22 p., 15 fig., 12 réf. bibl.; III : 18 p., 9 fig. — Nature et classification des sols, terminologie. Composition des sols, proportion des vides, porosité, degré de saturation, poids unitaire, poids spécifique, dimensions et forme du grain. Capillarité, contraction et dilatation, perméabilité. — E. 41621. — 61 p.

408. Règlement d'application du code de la construction du Bureau National des Assureurs

contre l'incendie (U. S. A.) pour l'installation d'appareils producteurs de chaleur ainsi que de systèmes de chauffage, de ventilation, de conditionnement d'air, de souffleries et d'évacuation (Building code standards of the National Board of fire underwriters for the installation of heat producing appliances, heating, ventilating, air conditioning, blower and exhaust systems). *Nation. Board Fire Underwriters*, U. S. A. (jan. 1949), 40 p., 10 fig. — Texte des règles concernant l'installation de : calorifères et chaudières de chauffage, appareils de chauffage et de cuisine montés sur plancher, calorifères montés sur plancher, aérothermes à feu direct du type au plafond, appareils de chauffage

muraux, appareils de cuisine type restaurant montés sur plancher, foyers industriels et chaudières de machines à vapeur, type fixe. Carneau, hottes, canalisations, systèmes de chauffage à air chaud et de conditionnement, incinérateurs, souffleries et canalisations d'évacuation. — E. 41622, 61 p.

458. Détermination de l'effet des vibrations des bâtiments (Ermittlung der Wirkung von Bauwerksschwingungen). KOCH (H. W.); *V. D. I. All.* (21 juill. 1953), vol. 95, n° 21, p. 733-737, 9 fig., 7 réf. bibl. — Etude des procédés directs qui comprennent les mesures d'allongement et de contraintes, ou les mesures de flexion et

de déplacement. Exemples d'enregistrements. Procédés indirects. Echelle d'intensité de vibration et échelle des coefficients de dommage. Exemples de trépidations. Modes d'emploi des différents appareils de mesure. Influence sur l'homme. Intensité de sensation de vibration d'après Zeller, échelle de sensation d'après

Reither et Meister. — E. 41623, 17 p.

459. Règles pour les constructions en béton précontraint (Norme per le strutture in cemento armato precompresso). *Ingegneri*, Ital. (jan. 1956), n° 1, p. 31-38, 2 fig. — Texte des Règles

italiennes. Prescriptions générales, caractéristiques des bétons, condition de réception des fournitures, tolérances, état des échantillons, pose des câbles, mise en tension, taux de travail, pertes de tension par relaxation, calculs statiques, Commentaires explicatifs sur ces règles. — E. 41624, 17 p.

III. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente, les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs ou aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir, toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 6, rue Paul-Valéry, Paris-XVI^e.

B-1851. Sortir la construction de l'impasse. Éd. : Fédération nationale du Bâtiment, 33, avenue Kléber, Paris, Fr. (31 mars 1956), 1 vol. (15,5 × 24 cm), 96 p. — Le but de cette brochure est de faire le point de la situation de la construction au début de 1956, de montrer la nécessité d'un retour au jeu normal des formules de révision des prix et de préconiser une remise en ordre en vue d'une politique de longue durée ayant pour base le cadre régional. — Lacunes de la politique des prix, coût excessif du financement, excès de la fiscalité, insuffisances de la politique foncière, manque de continuité dans l'élaboration des programmes de construction. Problèmes posés par la main-d'œuvre et les matériaux. Étude des moyens d'une politique de la construction : assainissement des prix, amélioration du financement, allègement de la fiscalité, politique des terrains à bâtir, industrialisation du bâtiment, relèvement des loyers. — E. 41466.

B-1852. Leçons sur la résistance des matériaux. T. I. — Généralités. Propriétés élastiques, essais et conditions d'emploi des matériaux. DREYFUSS (E.); Éd. : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1956), 1 vol. (16,5 × 25 cm) 175 p., fig., F. 1250. — L'ouvrage constitue un cours à l'usage des élèves des Grandes Ecoles. Il s'adresse également aux praticiens des bureaux d'études pour lesquels il constituera un guide et un document de travail précieux, objet de la théorie de la résistance des matériaux. L'étude externe, l'étude interne, considérations sur les contraintes. Unités de mesure et calculs numériques en résistance des matériaux. Hypothèses fondamentales de la résistance des matériaux. Propriétés élastiques, essais et conditions d'emploi des matériaux : caractéristiques des matériaux, lois expérimentales de l'élasticité. Données numériques. Réglementation de l'emploi des matériaux et du calcul des ouvrages. — E. 41131.

B-1853. Stabilité des terres. Sols routiers. Soutèvements. Talus. VERDEYEN (J.), ROISIN (V.); Éd. : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1955), 1 vol. (16,5 × 24 cm), 426 p., 340 fig., F. 4 115. — L'ouvrage n'est pas destiné aux spécialistes de la mécanique des sols mais s'adresse aux techniciens désireux d'avoir une vue d'ensemble sur les principes de la stabilité des terres. — Il traite du sol considéré comme un matériau de construction destiné à réaliser des ouvrages et qui, grâce à des manipulations et des dosages étudiés, acquiert les qualités qui lui permettent de se comporter convenablement. — La première partie étudie la stabilité des sols en vue de la réalisation des chaussées, routes et pistes, et présente un intérêt particulier pour les pays neufs et les territoires d'outre-mer. — La deuxième partie traite de la stabilité des soutèvements, poussée des terres sur les murs de soutènement, calcul des rideaux de palplanches ondulées et des constructions cellulaires en palplanches plates. — La troisième partie s'efforce de dégager les prin-

cipes généraux qui sont à la base de l'étude de la stabilité des talus en terre et qui sont applicables aux hauts remblais, aux tranchées profondes, aux digues de retenue. — Importante bibliographie. — E. 41468.

B-1854. Mécanique du sol et fondations. VERDEYEN (J.); Éd. : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1955), 3^e édit., 1 vol. (15,5 × 24 cm), 580 p. nombr. fig., F. 4 400. — Le présent ouvrage ne s'adresse pas aux spécialistes de la mécanique des sols, mais il constitue un guide pratique pour les architectes, ingénieurs, experts et entrepreneurs qui désirent avoir une vue d'ensemble des principes qui sont à la base de l'étude des sols en vue des applications à la technique des fondations. La première partie est un résumé des principales théories et méthodes expérimentales actuellement utilisées en mécanique des sols. — La deuxième partie a pour but de dégager les principes généraux qui doivent être appliqués en vue d'une exécution rationnelle des fondations : fondations directes, fondations profondes, renforcement des fondations, reprise en sous œuvre, rabattement de la nappe aquifère, palplanches, sécurité des fondations. — L'auteur s'est délibérément abstenu de traiter des théories de la poussée des terres et des méthodes de construction des murs de soutènement, des remblais de grande hauteur, des tranchées profondes, des barrages de retenue et des routes et pistes en sol stabilisé. Cette matière nécessiterait à elle seule un ouvrage important pour être traitée de façon approfondie. — Bibliographie. — E. 41129.

B-1855. Dictionnaire anglais-français des termes relatifs à l'électrotechnique, l'électronique et aux applications connexes. PIRAUX (H.); Éd. : Eyrolles, 61, boulevard Saint-Germain, Paris, Fr. (1955), 1 vol. (16 × 24,5 cm), 304 p., F. 1780. — Ce dictionnaire donne la traduction de plus de 20 000 mots et expressions généralement admis par le Comité Electrotechnique Français, l'American Standards Association et la British Standards Association. — Très clair et très pratique, cet ouvrage constituera un instrument de travail précieux pour les ingénieurs, techniciens, agents de maîtrise, étudiants, traducteurs, qui dans toutes les branches de l'électrotechnique ont à comprendre ou à traduire des termes d'origine anglo-saxonne. Il contient également un grand nombre de termes techniques concernant l'optique, l'acoustique, le cinéma, la photographie et comporte une cinquantaine de tableaux de conversion. — E. 41130.

B-1856. Silos. Théorie et pratique. REIMBERT (M. et A.); Éd. : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1956), 1 vol. (15,5 × 24 cm), 280 p., 335 fig., F. 3 050. — Le présent traité sur le calcul des silos est appelé à faciliter grandement la tâche des ingénieurs chargés de l'élaboration des projets en présentant à la fois les notions théoriques et les résultats expérimentaux, là où la théorie est impuissante. —

Calcul des silos : théorie générale, surpression dans les silos lors de la vidange, détermination des plus fortes contraintes, moments fléchissants et efforts de traction sollicitant les parois des silos. Détermination des sections des parois. Mamelles des silos. Poteaux supportant les silos. Modèles de dispositions d'armatures des parois des silos en béton armé. Construction des silos modernes : conservation des céréales, caractéristiques des silos agricoles et des silos industriels. Étude des principaux modes de réalisation : silos en grillage ou en tôle perforée, silos en bois, en matériaux divers, silos métalliques, silos en béton armé (béton armé préfabriqué, traditionnel, précontraint). — E. 41467.

B-1857. Travaux à la mer. Précis de construction et d'exploitation des ports. BLOSSET (M.); Éd. : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1955), 3^e édit. 1 vol. (16 × 25 cm), 191 p., 255 fig., 1750 F. — Le présent ouvrage constitue un manuel pratique où sont exposées les idées générales et notions essentielles formant la base de l'étude des travaux à la mer. — Mouvements de la mer, action des vents sur la mer; marées, courants. Action de la mer sur les matériaux naturels et de construction. Caractéristiques des navires, navigation, phares et balises. Étude des différents types de ports. Digue, quais, appontements, wharfs, ducs d'Albe. Ecluses maritimes, ponts. Ouvrages pour la réparation et la construction des navires, formes de radoub, docks flottants. Dragages. Epis et perrés. Aménagement des fleuves dans leur partie maritime. Canaux maritimes. — Outillage, administration et police des ports. Exemples de réalisations : port de Mar-de-Plata en Argentine, Arromanches (juin 1944). — E. 41426.

B-1858. La commande hydraulique. Applications industrielles. Éd. : Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, Fr. (mars 1956), numéro spécial de la *Technique moderne* (24 × 31 cm), xxxviii + 132 p. + xxv p., nombr. fig., F. 1350. — Ce numéro spécial constitue un cours complet sur les applications de la commande hydraulique — Considérations générales : standards hydrauliques pour équipements industriels, liquides pour transmissions hydromécaniques. Étude des éléments des circuits hydrauliques : organes générateurs, régulateurs, distributeurs et récepteurs. Vérins hydrauliques, tuyauteries et raccords, joints des circuits hydrauliques. Applications de la commande hydraulique : machines-outils, presses, appareils de maintenance, matériels de travaux publics, bennes basculantes, industrie sidérurgique, Applications à l'automobile, à l'aviation. Description de quelques réalisations. — E. 41615.

B-1859. Technologie des produits de terre cuite. BODIN (V.); Éd. : Gauthier-Villars, 55, Quai des Grands-Augustins, Paris, Fr. (1956), 1 vol. (16 × 25 cm), vi + 247 p., 134 fig., F. 2000. — L'ouvrage s'adresse plus spécialement aux techniciens des usines de production,

mais il présente également un grand intérêt pour les architectes et entrepreneurs du bâtiment. Il décrit et étudie successivement toutes les opérations de la fabrication des produits de terre cuite, en commençant par l'extraction des matières premières. — La préparation des mélanges, le façonnage, le séchage et la cuisson sont ensuite passés en revue, ainsi que les divers procédés et matériels utilisés. — Un important chapitre est réservé aux contrôles et aux essais. — Les efflorescences et la gélivité sont également étudiées. — Le dernier chapitre traite de la disposition générale et de l'organisation de l'usine. — Abondante bibliographie. — E. 41293.

B-1860. Technologie des machines frigorifiques industrielles. BILLARDON (R.); Edit. : J. B. Baillière et Fils, 19, rue Hautefeuille, Paris, Fr. (1954), 1 vol. (16 × 25 cm), 238 p., 130 fig., F. 2195. — L'ouvrage constitue un guide pratique destiné aux constructeurs, installateurs, exploitants, et en général à tous les techniciens s'intéressant aux installations frigorifiques importantes utilisées dans toutes les branches de l'industrie. — Après un exposé des dispositions générales des installations frigorifiques et des fonctions des différents appareils, description des principales réalisations et indications sur les circuits frigorifiques, le montage et la mise en service des installations, les essais et le contrôle de marche, soit à titre d'essais de réception, soit à titre de vérification des conditions de marche et de la conduite de l'exploitation. — E. 41204.

B-1861. Calcul des prix de revient prévisionnels dans l'entreprise de bâtiment et de travaux publics. TOFANI (R.); Editions du Moniteur des Travaux publics 32, rue Le Peletier, Paris, Fr. (1956), 1 vol. (24 × 15,5 cm), 315 p., 80 fig., F. 1900. — L'ouvrage apporte une contribution pratique au problème du calcul des prix de revient dans les industries du bâtiment et des travaux publics. — Généralités sur l'entreprise de bâtiment ou de travaux publics et sur l'organisation de la profession. — Analyse des différentes méthodes connues pour le calcul des prix de revient dans les industries du bâtiment et des travaux publics. Présentation d'un nouveau système de calcul du prix de revient. Etude du coût de fonctionnement des engins, amortissement du matériel. Etablissement des prix prévisionnels. Applications particulières de la méthode générale, comparaison des prévisions et des résultats. — Bibliographie. — E. 41132.

B-1862. Nouvelle conception de la résistance des matériaux. Torsion, effort tranchant. Synthèse de la mécanique des sols et des solides. Vérifications expérimentales. Application au béton armé et au béton précontraint. COUARD (A.); Extrait du : *Génie civ.*, Fr. (mars 1956), 1 broch. (15,5 × 24 cm), 78 p., 34 fig., 2 réf. bibl. — Dans cet ouvrage l'auteur expose une théorie de la rupture des corps solides. Selon lui il existerait des discordances entre les constatations expérimentales et les conclusions des différentes théories actuellement connues. Il établit les formules qui, suivant ses conceptions, expliqueraient les phénomènes de rupture. Les résultats de l'application de ces formules sont comparés à ceux des expériences sur les sols effectuées aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux publics à Paris, et sur les bétons à l'Université de Berkeley (Californie) et à l'Université d'Illinois (U. S. A.). — E. 41252.

B-1863. Méthode pratique de détermination de la surpuissance des chauffages en régime intermittent ou discontinu. DUPUY (R.), JACQ (J.), DUMEZ (A.); Association des Ingénieurs de Chauffage et de Ventilation de France, 19, rue Blanche, Paris, Fr. (1955), 1 vol. (21,5 × 27 cm), 71 p., 20 fig., 2 pl. h.-t., 10 réf. bibl. — L'ouvrage s'adresse à l'ingénieur de chauffage et présente sous une forme claire des méthodes simples permettant de déterminer rapidement

les caractéristiques qualitatives de l'installation répondant à un programme donné. — Exposé général, données et hypothèses concernant le calcul des installations de chauffage en régime variable. Construction des profils de températures dans les parois massives par la méthode graphique de Binder et Schmidt. — Détermination de l'évolution des températures dans le local et dans ses parois. Construction de la courbe de température intérieure. Détermination des caractéristiques d'émission du chauffage nécessaire. Caractéristiques de distribution et de production. Méthode de réduction d'une ou de plusieurs parois massives à une paroi fictive équivalente et extension aux masses contenues dans le local. Exemple d'application. — En annexe : Tableau de valeurs numériques de la chaleur spécifique pour matériaux secs. — E. 40946.

B-1864. Législation, nomenclature et réglementation des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Journal Officiel, Imprimerie des Journaux officiels, 31 Quai Voltaire, Paris, Fr. (1955), 3^e édit. mise à jour au 1^{er} avr. 1955, 1 vol. (13,5 × 21 cm), n° 1001, 578 p., F. 800. — Recueil des lois, décrets, ordonnances concernant les établissements dangereux, insalubres ou incommodes, dispositions applicables aux établissements, pénalités. Aménagements intercommunaux et communaux. Nomenclature des établissements dangereux, insalubres ou incommodes. Prescriptions imposées à ces établissements. Règlements concernant la suppression des fumées industrielles, ordonnances du préfet de police sur le bruit. Protection des établissements industriels contre le danger d'incendie par la foudre. Rejet des eaux résiduaires. — E. 41128.

B-1865. Livre de l'eau (Guide pratique à l'usage des ingénieurs et des techniciens Vol. III). — Edit. : Centre belge d'Etude et de Documentation des Eaux, 2, rue A. Stévant, Liège, Belg. (1955), 1 vol. (14,5 × 21 cm), 316 p., 35 fig., 9 réf. bibl. — I. — *Les eaux pour l'alimentation.* — Les eaux d'alimentation au Congo. Caractéristiques de potabilité d'une eau. — Les eaux minérales et thermales. Les eaux des piscines et les problèmes posés par leur épuration : piscines couvertes, bassins à ciel ouvert; procédés d'épuration. — II. — *Les eaux de qualité.* — L'eau et la géographie de la localisation de l'industrie : aperçu historique, situation actuelle, tendances générales. Industries exigeant de l'eau certaines « qualités ». — L'eau en tant que voie de communication, de sources d'énergie. Grands travaux hydrauliques à fins multiples. Exposé des grands projets pour l'avenir. — Les turbines hydrauliques, les ouvrages du génie civil, caractères des aménagements de basse chute, de chute moyenne et de haute chute. Organes hydrauliques. L'eau et la pisciculture. Qualités requises pour les eaux de chaudières. Qualités requises pour certaines industries. — III. — *Le traitement des eaux de qualité.* — Traitement d'une eau de surface à usage alimentaire ou à usage industriel dominant. Traitements spéciaux pour eaux de chaudière. — IV. — *Analyse des eaux pour chaudières.* — Bulletins d'analyse, échantillonnage. — E. 41205.

B-1866. Technique de la conservation du sol et de l'eau (Soil and water engineering). FREVET (R. K.), SCHWAB (G. O.), EDMISTER (T. W.), BARNES (K. K.); Ed. : John Wiley and Sons, Inc., 440 Fourth Avenue, New York 16, N. Y., U. S. A. (1955), 1 vol. (14,5 × 22 cm), xiii + 479 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl., \$8.00. — Le présent ouvrage constitue une synthèse de toutes les données dont la connaissance est indispensable dans le domaine de la conservation du sol et de l'eau. — Après un chapitre exposant les aspects généraux du problème du point de vue de la technique de l'ingénieur, l'ouvrage donne un aperçu concis et substantiel sur les notions d'hydrologie et

de la physique des sols. Il est suivi d'études détaillées sur l'érosion du sol et les moyens de la prévenir, la construction des barrages en terre, la protection contre les crues, le drainage, l'irrigation, les travaux de défrichement, et les aspects juridiques de la conservation du sol et de l'eau. — E. 41015.

B-1867. Comptes rendus de la Trente-Quatrième Conférence de la Western Association of State Highway Officials, 8,11 sep. 1955 (Proceedings Western Association of State Highway Officials, Thirty-fourth annual Conference). Oregon State Highway Department, Salem, Oregon, U.S.A. (1955), 1 vol. (21 × 27,5 cm), vi + 424 p., fig. — Texte des communications présentées sur divers sujets et notamment sur : drains horizontaux pour prévenir les glissements de terrain, revêtements routiers bitumineux, avec emploi de sable de dune, tendances nouvelles dans la construction de revêtements routiers en sol-ciment, méthodes proposées pour la stabilisation des couches de fondation au moyen d'asphalte, réalisation de revêtements en béton au moyen de finisseuses à coffrage glissant, emploi du béton précontraint et résultats enregistrés, exigences modernes du point de vue de l'entretien des routes, études sur la dégradation des agrégats, produits antidérapants, problèmes financiers et administratifs. — E. 41292.

B-1868. Mode opératoire pour les essais de corrosion (Corrosion testing procedures). CHAMPION (F. A.); Edit. : Chapman and Hall, 37 Essex Street W. C. 2, Londres, G.-B. (1952), 1 vol. (14,5 × 22 cm), xi + 369 p., 104 fig., nombr. réf. bibl., s. 36/. — Le présent ouvrage s'adresse tout particulièrement au technicien qui doit faire face aux problèmes pratiques posés par la corrosion des métaux en service et pour la production de métaux offrant une résistance appropriée à la corrosion. Choix des échantillons, revêtements protecteurs. Milieux favorisant la corrosion : milieux naturels et artificiels. Conditions d'exposition en laboratoire. Essais en chantier et en service. Nettoyage des échantillons après corrosion. Etude des effets de la corrosion sur le métal : examen microscopique et macroscopique, procédés gravimétriques. Mesure du potentiel, épaisseur de la pellicule, isolation des films protecteurs de faible épaisseur. Essais spéciaux : alliages d'aluminium, alliages de cuivre, fer, aciers inoxydables, hydrocarbures. Interprétation des résultats d'essais. — E. 41291.

B-1869. Hydraulique des conduites. Manue pour le calcul pratique de l'écoulement dans les conduites (Rohrhydraulik. Ein Handbuch zur praktischen Strömungsberechnung). RICHTER (H.); Edit. : Springer-Verlag, Reichpietschauer 20, Berlin W. 35, All. (1954), 2^e édit., 1 vol. (16 × 24 cm), xi + 328 p., 285 fig., réf. bibl. — Le présent ouvrage se caractérise par son aspect éminemment pratique. Il contient de nombreuses formules et abaque directement utilisables, ainsi qu'un grand nombre d'exemples empruntés aux domaines les plus variés de l'hydraulique. — Notions fondamentales de mécanique des fluides et de thermodynamique. Propriétés de la matière. Loi de continuité. Formes de l'énergie. Ecoulement sans frottement, écoulement naturel. Considérations théoriques et résultats expérimentaux. Ecoulement dans les conduites droites à section constante. Perte de charge pour liquides, gaz, vapeurs. Ecoulement laminaire. Transition entre écoulement laminaire et turbulent. Ecoulement turbulent dans un tuyau droit lisse et dans un tuyau rugueux. Tuyaux de section non circulaire. Tuyaux de section variable. Conduites courbes, changements de direction et branchements. Calcul pratique des conduites. Relations générales donnant la perte de charge. Signification des calculs. Représentations graphiques. Bases générales de calcul pour les liquides, gaz et vapeurs. Tables de densité et de viscosité.

Nombre de Reynolds. Coefficients de résistance pour une conduite droite à section circulaire. Abaques. Singularités : coudes, bifurcations. Cas particuliers pratiques. Problèmes à résoudre dans le cas des conduites d'eau, pipelines, conduites d'air, de gaz, de vapeur. — E. 34734.

B-1870. Normes allemandes relatives à la construction de logements (Wohnungsbaunormen), FROMMHOLD, HASENJAGER : Edit. : Werner Verlag GmbH, Eckstrasse 11a, (22a) Düsseldorf, 1, All. (1955), 4^e éditn, 2 vol. (14,5 × 20,5 cm), I : 256 p., 312 fig., réf. bibl. DM. 8. — II : 256 p., nombr. fig., 12 DM. — Texte des normes allemandes relatives à la construction des bâtiments à l'usage d'habitation. — Vol. I : Normes générales. Etude des projets, dimensions des locaux, hauteurs d'étage et pente des escaliers. Dimensionnement, épaisseur des murs, isolation thermique et acoustique, prix de revient de la construction. Matériaux, éléments préfabriqués : briques, agglomérés de béton, tuiles, panneaux, cloisons, planchers. Etanchéité des bâtiments. Installations sanitaires. — Vol. II : Liants, pierres artificielles, briques silico-calcaires, panneaux muraux. Fenêtres en bois ou métalliques. Portes en bois, serrurerie du bâtiment. Volets roulants en bois. — E. 41095, 41096.

B-1871. Les matières plastiques dans le bâtiment (Kunststoffe im Bauwesen). SAECHTLING (H. J.) : Edit. : Verlag ECON, Postfach 9,037, Düsseldorf, All. (1955), 1 vol. (19,5 × 26,5 cm), 220 p., 191 fig., DM. 25. — Etude des caractéristiques des matières synthétiques à l'usage des techniciens du bâtiment. Constitution et préparation. Modifications de structure

et propriétés mécaniques. Propriétés pratiques en tant que matériaux « organiques ». Considérations économiques. — Résines et produits synthétiques dans la technique de la construction : Utilisation courante des liants à base de résines artificielles. Résines synthétiques utilisées comme produits d'addition du béton et comme agents d'amélioration du bois, comme isolants thermiques et acoustiques. Utilisation des matières plastiques pour la protection contre la corrosion et les intempéries, la construction d'éléments autoporteurs, les installations électriques et sanitaires et les canalisations d'eau et de gaz. — Matières et résines synthétiques utilisées pour l'équipement et la décoration des bâtiments : Revêtements de planchers. Bords et rampes d'escalier. Revêtements muraux. — Différentes matières plastiques : Matières synthétiques provenant de produits naturels. Produits classiques à base de résines de condensation. Produits obtenus par polymérisation. Nouvelles matières plastiques (polyamides, polyméthanés, silicones). Noms commerciaux de ces produits. — E. 41209.

B-1872. Revêtements de sols antiacides et revêtements pour réservoirs (Savallo Burkolatok. Tervezés és Kivitelezés). ANDRAS (N.), FEJES KATALIN (P.) : Edit. : Egitésügyi Kiado, Budapest, Hongrie (1954), 1 vol. (17,5 × 24 cm), 216 p., 209 fig. — En raison de l'extension prise par l'industrie des produits chimiques en Hongrie depuis une dizaine d'années, le problème des revêtements de sols des bâtiments industriels et des revêtements de réservoirs a pris dans ce pays une importance grandissante. — Devant l'insuffisance de données techniques sûres dans ce domaine particulier,

l'Institut Hongrois de la Recherche scientifique et technique du Bâtiment a élaboré en 1951 un document intitulé : « Règles pour l'étude et l'exécution des revêtements de sols antiacides ». Toutefois ces Règles étaient encore incomplètes et de nouvelles recherches furent entreprises. Le présent ouvrage constitue une synthèse des connaissances recueillies par l'Institut Hongrois de la Recherche scientifique et technique du Bâtiment. Il s'adresse plus particulièrement aux spécialistes des revêtements de sols et des revêtements de réservoirs qui y trouveront toutes les indications pratiques nécessaires. — E. 40819.

B-1873. Statique des constructions en voiles minces (Héjszerkezetek Statikája). KAZMER (S.) Akadémiai Kiado, Budapest, Hongrie (1953), 1 vol. (14,5 × 20 cm), 207 p., 120 fig., 5 réf. bibl. — Au cours des dernières décades la construction en béton armé a posé une multitude de problèmes qui ne peuvent être résolus par les méthodes habituelles de la statique. Il est donc devenu indispensable d'élargir les cadres de celle-ci par la théorie mathématique de l'élasticité. Le présent ouvrage se propose de faciliter la tâche des ingénieurs-construteurs en présentant les problèmes fondamentaux de la théorie des voiles minces sous une forme qui permette de la comprendre sans faire appel aux mathématiques supérieures et de l'appliquer à l'aide des notions fondamentales de la théorie de l'élasticité. L'auteur n'a pas cherché à développer le sujet d'une façon nouvelle ou à présenter des solutions originales pour certains problèmes, mais il s'est efforcé d'exposer ceux-ci d'une manière simple et compréhensible en vue des applications pratiques. — E. 40818.

(Reproduction interdite)

DOCUMENTATION TECHNIQUE
(XII)

IDÉES ACTUELLES SUR LA TECHNOLOGIE DU BÉTON

par Robert L'HERMITE, Délégué Général des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

Un ouvrage de 252 pages, format 14×21,5 cm, avec 98 figures, relié pleine toile, prix : 2 000 F+T.L. (franco port recommandé 2 125 F)

OUVRAGES PARUS :

Résistance des matériaux théorique et expérimentale, par R. L'HERMITE. Tome I : Théorie de l'élasticité et des structures élastiques.

Un vol. relié toile de xvi + 860 p., format 16 × 25 cm 8 400 F
(franco port recommandé : 8 770 F).

Formulaire du béton armé (tome I), par R. CHAMBAUD et P. LEBELLE. Avec la collaboration de R. CLOET.

Un vol. relié toile de 460 p., format 14 × 22,5 cm 3 800 F
(franco port recommandé : 4 000 F).

Béton précontraint. Étude théorique et expérimentale, par Y. GUYON.

Un vol. grand in-8° raisin, 728 p., 503 fig. Relié 4 800 F
franco port recommandé : 5 075 F).

Règles d'utilisation du béton armé (Règles BA, 1945, modifiées en mars 1948).

Un vol. in-8° carré, 104 p., 27 fig. Broché 260 F
(frais d'expédition 30 F).

Règles d'utilisation des ronds crénelés et lisses pour béton armé de limite d'élasticité supérieure ou égale à 40 kg/mm².

Un vol. in-8° carré, 60 p., 8 fig. Cartonné 350 F
(frais d'expédition 30 F).

Règles pour le calcul et l'exécution des constructions métalliques (Règles CM, 1956).

Un vol. 14 × 21,5 cm, 112 p., 50 fig. Relié 800 F
(franco port 855 F).

Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions (Règles NV, 1946).

Un vol. in-8° carré, 96 p., 29 fig. 275 F
(frais d'expédition 30 F).

Étanchéité par l'asphalte. Cahier des charges et conditions générales applicables aux travaux d'étanchéité par revêtement en asphalte.

Broché 200 F
(frais d'expédition 35 F).

Conditions d'exécution du gros-œuvre des toitures-terrasses en béton armé.

Un vol. in-8° carré, 32 p., 27 fig. Br.-ché 100 F
(frais d'expédition 15 F).

Terrassement à l'aide d'engins mécaniques. Étude des prix de prévision et contrôle des prix de revient, par A. LARUELLE, Ingénieur E. C. L.

Un vol. format 21 × 27 de 88 pages avec 54 figures, sous couverture rigide. 1 000 F
(franco port recommandé 1 080 F).

Devis et estimation des ouvrages en béton armé, par M. JAVAY.

Les trois fascicules 350 F
(frais d'expédition 30 F).

Lexique technique français-anglais et anglais-français du matériel de travaux publics.

Un vol. in-8° carré, 184 p. Relié pleine toile 700 F
(frais d'expédition 35 F).

Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889.

Nouveau tirage. Broché 900 F
(frais d'expédition recommandée 145 F).

La pierre matériau du passé et de l'avenir, par Pierre NOEL.

Un vol. in-8° carré, 112 p., 74 fig. Broché 250 F
(frais d'expédition 35 F).

Méthode de calcul des déperditions thermiques des locaux en régime continu.

Un vol. in-4° carré, 72 p. 900 F
(frais d'expédition 50 F).

Spécifications U. N. P. des produits de peinture utilisés dans les travaux de bâtiment

PREMIÈRE SÉRIE (octobre 1950), 16 fascicules réunis dans un cartonnage extensible 800 F

DEUXIÈME SÉRIE (juin 1954), 10 fascicules 350 F

TROISIÈME SÉRIE (mai 1955), 6 fascicules 220 F
(frais d'expédition 60 F).

MANUEL DE LA CHARPENTE EN BOIS : fascicules parus et disponibles.

N° 2. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art, par M. DUHOIX (prix : 220 F).

N° 3. — Les cintres en bois pour ouvrages d'art (annexe), par MM. DUHOIX et VALLETTE (prix : 200 F).

N° 5. — La préparation du bois. Exploitations forestières, abattage, séchage, étuvage, traitement de conservation et de préservation contre le feu, par M. CAMPREDON (prix : 80 F).

N° 6. — Travail des bois, par M. LOTTE (prix : 120 F).

N° 7. — Le trait de charpente (1^{re} partie), par M. JAROUSSEAU (prix : 120 F).N° 8. — Le trait de charpente (2^e partie), par M. JAROUSSEAU (prix : 220 F).

N° 9. — Les assemblages, par M. GREZEL (prix : 240 F).

N° 10. — Exemples de calculs de charpentes en bois (1^{re} partie), par M. VRAIN (prix : 240 F).N° 11. — Exemples de calculs de charpentes en bois (2^e partie), par M. VRAIN (prix : 315 F).

N° 12. — Étalements, échafaudages, ouvrages spéciaux (prix : 300 F).

N° 13. — Stabilité des constructions appliquée au bois. Première partie : Statique graphique, par M. VRAIN (prix : 220 F).

N° 14. — Le trait de charpente (3^e partie). L'escalier, par M. JAROUSSEAU (prix : 150 F).N° 15. — Stabilité des constructions appliquées au bois. Deuxième partie : Calcul des systèmes constructifs en général, par MM. VRAIN et GREZEL (prix : 450 F).
(frais d'expédition des 13 fascicules : 100 F).

(à suivre)

MANUEL DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : fascicules parus et disponibles.

N° 1. — Introduction et plan (prix : 60 F).

N° 2. — Moyens d'assemblage des constructions métalliques (prix : 140 F).

N° 3. — Assemblages dans les constructions métalliques (prix : 160 F).

N° 4a. — Combles (prix : 110 F).

N° 5. — Rivetage (prix : 120 F).

N° 6. — Charpentes et ossatures métalliques de bâtiment. — Généralités. — Planchers (prix : 100 F).

N° 7. — Poutres à âme pleine (prix : 80 F).

N° 9. — Éléments des systèmes réticulés. Éléments comprimés (prix : 160 F).

N° 10. — Exemples de calcul de l'ossature métallique d'un bâtiment à étages (prix : 140 F).

N° 12. — Présentation des Règles CM 1956 (prix : 60 F).

(frais d'expédition des 10 fascicules : 50 F).

(à suivre)

Autres publications en vente à La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

Au pied du mur, par R. L'HERMITE.

Un vol. format 24 × 32, 108 p., 19 séries de planches en quatre couleurs.
Couverture cartonnée en quadrichromie 2 000 F
(franco port recommandé : 2 200 F).

Le poste de bétonnage, par O. RODÉ et A.-P. DUCRET.

Un vol. format 21 × 27, 200 p., nombreuses illustrations. Relié toile sous jaquette laquée 4 000 F
(franco port recommandé : 4 200 F).Adresser les commandes accompagnées de leur montant à LA DOCUMENTATION TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS, 6, rue Paul-Valéry Paris-XVI^e. — C. C. P. Paris 8524-12.
Aucune réclamation ne sera admise si l'envoi n'a pas été recommandé (recommandation 25 F en sus).